

Nancy Wetzig

LED-Anwendungen zur Verbesserung der Energieeffizienz
bei der Sicherheitsbeleuchtung in Gebäuden

eingereicht als

Bachelorarbeit

bei der

HOCHSCHULE MITTWEIDA

UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Fakultät Maschinenbau

Mittweida, 2010

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Hans-Gerhard-Kretzschmar

Zweitprüfer: Dipl.-Ing. oec. Rainer Hedrich

Vorgelegte Arbeit wurde verteidigt am:

Bibliographische Beschreibung:

Wetzig, Nancy:

LED-Anwendungen zur Verbesserung der Energieeffizienz bei Sicherheitsbeleuchtung in Gebäuden. -2010, -36 S.

Mittweida, Hochschule Mittweida (FH), Fakultät Maschinenbau, Immobilienmanagement und Facilities Management, Bachelorarbeit, 2010.

Referat:

Die Verwendung effizienter Leuchtmittel hat in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen. Daher bieten LEDs eine energie- und kosteneinsparende Lösung. Sie kommen sowohl privat, als auch öffentlich in immer mehr Bereichen zum Einsatz und werden fortlaufend weiter entwickelt.

Die Bachelorarbeit zeigt Möglichkeiten auf, wie eine Umrüstung herkömmlicher Leuchtmittel auf LEDs erfolgen kann und klärt dazu die technischen und gesetzlichen Voraussetzungen. Dabei liegt der Fokus auf der Sicherheitsbeleuchtung in Gebäuden. Bei einem Vergleich zwischen bisher eingesetzten Leuchtmitteln und neuen LED-Möglichkeiten werden die Vorzüge und Nachteile dieser Technik deutlich. Das Ziel dieser Arbeit besteht weiterhin darin, anhand einer Amortisationsrechnung aufzuzeigen, ob sich eine Investition in LEDs lohnt. Dabei werden die Strom- und Anschaffungskosten beider Varianten ermittelt und gegenüber gestellt.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	V
Abbildungsverzeichnis	VI
Tabellenverzeichnis	VII
1 Die LED und ihr Einsatz in der Sicherheitsbeleuchtung.....	1
2 Die Leuchtdiode	2
2.1 Bauformen	2
2.1.1 Bedrahtete LEDs	2
2.1.2 SMD-LEDs	3
2.1.3 Superflux-LEDs	4
2.1.4 COB-LEDs	4
2.2 Funktionsweise	5
2.2.1 Halbleiter	5
2.2.2 Dotierung.....	6
2.2.3 Der pn-Übergang.....	7
2.2.4 Durchlassrichtung und Sperrrichtung.....	8
2.3 Vorzüge und Schwächen einer Leuchtdiode.....	9
2.3.1 Vorteile der LED	9
2.3.2 Nachteile der LED	10
2.4 Einsatzbereiche	11
2.4.1 Privater Einsatz	11
2.4.2 Gewerblicher Einsatz.....	12
2.5 Weltweite Hersteller	14
2.6 Zukünftige Entwicklung	14
3. Sicherheitsbeleuchtung im Gebäude	15
3.1 Erklärung der Begriffe	15
3.1.1 Der Begriff Sicherheitsbeleuchtung	15
3.1.2 Die Begriffe der Fotometrie.....	17

3.2 Analyse der Sicherheitsbeleuchtung im Ferdinand-Pester-Haus	22
3.3 Möglichkeiten der Umrüstung auf LED-Beleuchtung	23
3.3.1 Einbau neuer Leuchten	24
3.3.2 Austausch des Leuchtmittels	24
4 Vergleich herkömmlicher Leuchtmittel mit LED.....	26
4.1 Gegenüberstellung der LEDs zu bisher eingesetzten Leuchtmitteln.....	26
4.3. Fazit	33
5. Zusammenfassung	35
Anhang.....	VIII
Literaturverzeichnis	XX
Selbstständigkeitserklärung	XXV

Abkürzungsverzeichnis

BHS	Büro- und Hausmeister Service
cd	Candela
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
COB	Chip On Board
DIN	Deutsches Institut für Normung
EN	Europäische Norm
kWh	Kilowattstunde
LED	Light Emitting Diode
lm	Lumen
LL	Leuchtstofflampe
lx	Lux
nm	Nanometer
OLED	Organic Light Emitting Diode
RGB	Rot Grün Blau
SMD	Surface Mounted Device
TFT-Display	Thin Film Transistor (Flüssigkristallbildschirm)
USV	Unterbrechungsfreie Stromversorgung
UV-Strahlung	Ultraviolette Strahlung
VDE	Verband der Elektrotechnik
W	Watt

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufbau einer Leuchtdiode	3
Abbildung 2: SMD-LED	3
Abbildung 3: Superflux-LED	4
Abbildung 4: COB-LED	5
Abbildung 5: Entstehung eines n-Halbleiters (l.) und eines p-Halbleiters (r.)	6
Abbildung 6: Betrieb in Durchlassrichtung (l.) und in Sperrrichtung (r.)	8
Abbildung 7: LED-Schreibtischlampe	12
Abbildung 8: Water Cube in Peking	13
Abbildung 9: Unterteilung der Notbeleuchtung	16
Abbildung 10: Hellempfindlichkeitsdiagramm	18
Abbildung 11: Polardiagramm	19
Abbildung 12: Beleuchtungsstärke	20
Abbildung 13: Leuchtdichte	20
Abbildung 14: Beispiele für Farbtemperaturen	21
Abbildung 15: Installationshinweis für LL (l.) und LED-Röhre (r.)	25
Abbildung 16: Energieeffizienzklassen	34
Abbildung 17: Energielabel für Leuchtmittel	X
Abbildung 18: Beleuchtungsstärken	XI
Abbildung 19: Farbtemperaturen	XII
Abbildung 20: Leuchtdichten	XIII
Abbildung 21: Lichtströme	XIV

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht Leuchtmittel	22
Tabelle 2: Vergleich Leuchtmittel Nr. 1	27
Tabelle 3: Vergleich Leuchtmittel Nr. 2	27
Tabelle 4: Vergleich Leuchtmittel Nr. 3	28
Tabelle 5: Vergleich Leuchtmittel Nr. 4	29
Tabelle 6: Vergleich Leuchtmittel Nr. 5	29
Tabelle 7: Vergleich Leuchtmittel Nr. 6	30
Tabelle 8: Vergleich Leuchtmittel Nr. 7	31

1 Die LED und ihr Einsatz in der Sicherheitsbeleuchtung

Energieeinsparende Beleuchtung gewinnt an immer größerer Bedeutung. Aus diesem Grund haben sich LEDs, welche bisher aus der Autobranche bekannt sind, in den letzten Jahren zunehmend in der Beleuchtungsindustrie durchgesetzt.

Im Hinblick auf herkömmliche Lampen wie Glühlampen, Halogenlampen, Energiesparlampen oder Leuchtstofflampen tritt die Leuchtdiode als energie- und kosteneinsparende Lösung in den Vordergrund. Die Kurzform LED (Light Emitting Diode) bezeichnet im Deutschen die „Licht emittierende Diode“. Sie ist ein elektronisches Halbleiterbauelement und wird in verschiedenen Farben, Größen und Bauformen angeboten. Daher kommt sie für unterschiedlichste Anwendungen zum Einsatz.

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wird die Leuchtdiode mit ihren Eigenschaften und Bauformen vorgestellt. Es wird ein Vergleich zu herkömmlichen Leuchtmitteln durchgeführt, um die Vor- und Nachteile der LED aufzuzeigen. Dabei spielt das Kriterium der Energieeffizienz eine wichtige Rolle.

In der vorliegenden Arbeit wird anhand eines praktischen Beispiels gezeigt, wie eine Umrüstung von herkömmlichen Leuchtmitteln auf LEDs erfolgen kann. Dazu wird die Sicherheitsbeleuchtung des Ferdinand-Pester-Hauses in Mittweida, welches von der BHS verwaltet wird, untersucht.

Die BHS ist ein Unternehmen, welches unter anderem Dienstleistungen im Bereich Gebäude- und Instandhaltungsmanagement, Hausmeister- und Büroservice in Mittweida und Umgebung anbietet. Sie sorgt für eine umfassende Betreuung der Objekte, den Werterhalt dieser und die Optimierung der Kosten.¹

Bevor es jedoch zu einer Umrüstung auf LEDs kommen kann, müssen verschiedene Vorüberlegungen getroffen werden. Zu Beginn wurde eine Ist-Analyse der vorhandenen Sicherheitsleuchten durchgeführt, indem eine Begehung des gesamten Gebäudes stattfand. Dabei wurde jede

¹ Vgl. o.V., BHS, 2009, <http://www.bhs-mittweida.de/wb/index.php>.

Sicherheitsleuchte mit ihren spezifischen Daten in eine Liste aufgenommen und die passenden LED-Leuchten ausfindig gemacht.

Sobald alle Daten vorhanden waren, erfolgte eine Kalkulation der Investitionskosten und eine Amortisationsrechnung, die erkennen lässt, ob sich eine Umstellung auf LEDs lohnt oder nicht. Des Weiteren sind eventuell notwendige Umbaumaßnahmen der bisher vorhandenen Leuchten zu berücksichtigen.

Als Ergebnis soll der BHS aufgezeigt werden, welche Aufwendungen für eine Umrüstung auf LEDs notwendig sind, welcher Nutzen daraus gezogen werden kann und wie sich die Energieeffizienz der LEDs gegenüber herkömmlichen Leuchten verhält.

2 Die Leuchtdiode

2.1 Bauformen

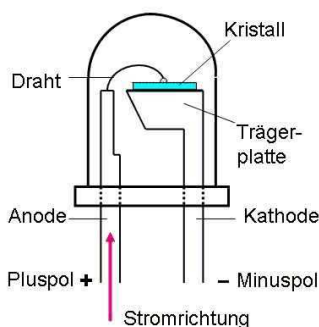
Leuchtdioden sind Halbleiterbauelemente, die in Durchlassrichtung betrieben werden und Lichtstrahlen aufgrund von Rekombination erzeugen.² LEDs gibt es in verschiedenen Bauformen, die sich anhand ihres Verlötvorgangs unterscheiden. Im Folgenden werden die bedrahtete LED, die SMD-LED, die Superflux-LED und die COB-LED vorgestellt.

2.1.1 Bedrahtete LEDs

Die bedrahtete LED gilt als geläufigste Bauform. Am häufigsten werden diese mit einem Durchmesser von 3mm oder 5mm verwendet. Die Leuchtdiode besitzt zwei elektrische Anschlüsse, die Anode (Pluspol) und die Kathode (Minuspole). Der Halbleiterkristall befindet sich in der Reflektor bzw. Trägerwanne (siehe Abb.1). Durch den Bonddraht, der mit dem Halbleiterkristall verbunden ist, wird der Kontakt zur Anode hergestellt. Ein Kunststoffgehäuse umhüllt diese Elemente.³

² Vgl. Busch, Elektrotechnik, 2003, S.195.

³ Vgl. o.V., Aufbau LED, o.J., <http://www.nanotruck.de/>.

Abbildung 1: Aufbau einer Leuchtdiode

Quelle: <http://www.fremo-hemsbach.de/> [Aufbau LED]

Diese Form der LEDs wurde in den vergangenen Jahren überwiegend als Zustandsanzeige bzw. Kontrolllämpchen in der Elektronik verwendet. Doch seit einiger Zeit finden sie ihre Anwendung auch in der Beleuchtungsindustrie. Dabei werden mehrere dieser LEDs beispielsweise in LED-Röhren oder in Spots zusammengefasst.⁴

2.1.2 SMD-LEDs

Unter SMD werden oberflächenmontierte Bauelemente verstanden, die keine Anschlussdrähte besitzen und direkt auf der Leiterbahn verlötet werden.⁵ SMD-LEDs (Abb.2) sind um vieles kleiner als bedrahtete LEDs und benötigen so einen geringeren Platzbedarf. Der Vorteil gegenüber bedrahteten LEDs liegt darin, dass mehrere Halbleiterkristalle verbaut werden können und somit eine höhere Leuchtkraft erzielt werden kann. Auch sie bieten die Möglichkeit in einer großen Menge in LED-Röhren oder Spots zusammengefasst zu werden.⁶

Abbildung 2: SMD-LED

Quelle: <http://www.ledshift.com/> [Bauformen]

⁴ Vgl. Lindner, Taschenbuch, 2004, S.313.

⁵ Ebenda, S.232.

⁶ Vgl. o.V., Bauformen, o.J., <http://www.ledshift.com/>.

2.1.3 Superflux-LEDs

Superflux-LEDs, oder auch Spider-LEDs genannt (Abb.3), senden ihr Licht flächenförmig in einem großen Abstrahlwinkel aus und sind somit für die Flächenbeleuchtung besonders geeignet. Sie besitzen 4 Pins, im Gegensatz zur bedrahteten LED mit nur 2 Pins und können bis zu 4 Halbleiterchips enthalten. Die vier Pins leiten Wärme besser ab und können getrennt angesteuert werden. Die Superflux-LED-Leiste gilt als Allround-Talent, da sie robust und biegsam ist und einfach installiert werden kann. Mittels eines Eckverbinders ist eine Montage über Ecken, Rundungen oder Kanten hinweg möglich.⁷

Abbildung 3: Superflux-LED



Quelle: [http://www.reichelt.de/?ARTICLE \[Superflux-LED\]](http://www.reichelt.de/?ARTICLE [Superflux-LED])

2.1.4 COB-LEDs

COB bezeichnet die Chip On Board Technologie. Hierbei „liegen die LED-Chips in Form eines Halbleiterchips vor“⁸. Es wird mit Hilfe von dünnen Drähten ein direkter Kontakt zwischen Halbleiter und Leiterplatte hergestellt. Dieses Verfahren wird als „Bonding“ bezeichnet. Diese Technologie ermöglicht auf kleinstem Raum eine hohe Leuchtkraft und bietet somit die optimale Lösung für High-Power-LED-Anwendungen. So können beispielsweise bis zu 70 Chips pro cm² aufgebracht werden.⁹ Außerdem sorgen die COB-LEDs für ein optimales Thermomanagement, welches wiederum die Lebensdauer solcher COB-Module

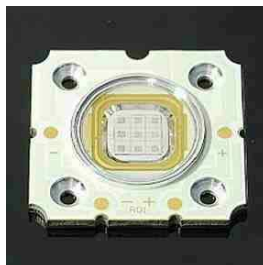
⁷ Vgl. o.V., Superflux, 2008, <http://www.openpr.de/news/>.

⁸ Vgl. o.V., COB, o.J., <http://www.lumitech.at/>.

⁹ Vgl. o.V., Bauformen, o.J., <http://www.ledshift.com/>.

erhöht. COB-LEDs (Abb. 4) sind oftmals unter der Bezeichnung Power-LEDs bekannt.¹⁰

Abbildung 4: COB-LED



Quelle: <http://www.lumitech.at/> [COB]

2.2 Funktionsweise

Nach dem die verschiedenen Bauformen der LED beschrieben wurden, wird die Funktionsweise von Leuchtdioden erklärt. Diese beruht auf der von Halbleiterdioden. Daher werden zu Beginn die Eigenschaften der Halbleiter erläutert und erklärt, wie deren Leitfähigkeit durch Dotierung beeinflusst werden muss, damit Strom durch die LED fließen kann und Licht erzeugt wird.

2.2.1 Halbleiter

Ein Halbleiter ist ein Festkörper, der bezüglich seiner elektrischen Leitfähigkeit zwischen den Metallen (Leitern) und den Isolatoren (Nichtleitern) liegt und eine kristalline Struktur aufweist.¹¹

Bei Halbleitern werden zwei Arten unterschieden. Zum Einen die Elementhalbleiter, welche aus identischen Atomen bestehen. Zum Anderen die Verbindungshalbleiter, welche aus unterschiedlichen Elementen zusammengesetzt sind. In Leuchtdioden kommt letzteres zum Einsatz, da Materialien aus der III. und V. chemischen Hauptgruppe verbunden werden.¹²

Ein bedeutender Elementhalbleiter ist Silizium aus der IV. Hauptgruppe. Bauelemente aus diesem Material bieten optimale elektronische Eigenschaften

¹⁰ Vgl. o.V., COB, o.J., <http://www.lumitech.at/>.

¹¹ Vgl. Donath, Halbleiter, 2008, S.9.

¹² Vgl. Reisch, Bauelemente, 2005, S.21.

und finden in der Elektronik am meisten Anwendung.¹³

Typische Materialien für Verbindungshalbleiter sind Galliumarsenid oder Bleisulfid. Anhand des Halbleitermaterials kann die Farbe der ausgesendeten Strahlung beeinflusst werden. Demnach wird rote Strahlung durch eine Beschichtung aus Galliumaluminiumarsenid oder blaue Strahlung aus Siliziumkarbid erzeugt.¹⁴

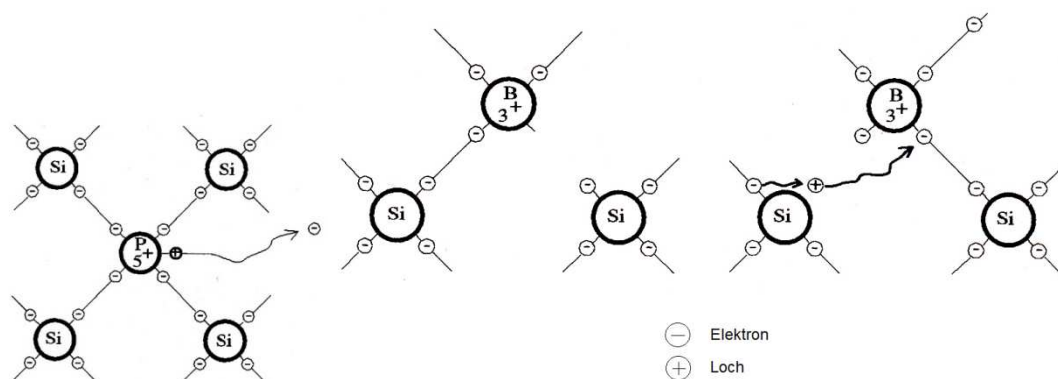
2.2.2 Dotierung

Halbleiter besitzen bei Raumtemperatur eine schlechte Leitfähigkeit. Um diese Leitfähigkeit zu erhöhen werden Halbleiter dotiert. Unter Dotierung versteht man das gezielte Einbringen von Fremdatomen in den Halbleiter.¹⁵

Dabei wird unterschieden zwischen n-dotierten Halbleitern, in die ein zusätzliches Elektron (negativer Ladungsträger) eingebracht wird und p-dotierten Halbleitern, in die ein zusätzliches Loch (positiver Ladungsträger) eingebracht wird.¹⁶

Dies wird an folgendem Beispiel (Abb. 5) deutlich, bei dem in einen 4-wertigen Siliziumkristall 5-wertiges Phosphor oder 3-wertiges Bor eingebracht wird.

Abbildung 5: Entstehung eines n-Halbleiters (l.) und eines p-Halbleiters (r.)



Quelle: Busch, 2003, S. 184 [Elektrotechnik]

¹³ Vgl. Lindner, Taschenbuch, 2004, S.241.

¹⁴ Vgl. Paul, Optoelektronisch, 1985, S.53.

¹⁵ Vgl. Reisch, Bauelemente, 2005, S.27f.

¹⁶ Vgl. Donath, Halbleiter, 2008, S.12.

In der ersten Abbildung wird Silizium mit Phosphor dotiert, welches ein Elektron übrig hat, da nur vier der Phosphorelektronen eine Verbindung mit dem benachbarten Silizium eingehen. Dieses fünfte Elektron steht nun für einen Stromfluss im Halbleiter zur Verfügung. Fünfwertige Dotierungsstoffe werden als Donatoren bezeichnet.¹⁷

In der zweiten Abbildung wird Silizium mit Bor dotiert, welches drei Elektronen besitzt. Ein Elektron des vierwertigen Siliziums findet somit keinen Bindungspartner. Dieses kann nun das entstandene Loch des benachbarten Atoms besetzen. Dadurch entsteht ein Springen der Elektronen von Nachbaratom zu Nachbaratom. Bei Anlegen einer Spannung kann auf diese Weise Strom transportiert werden. Dreiwertige Dotierungsstoffe werden als Akzeptoren bezeichnet.¹⁸

2.2.3 Der pn-Übergang

Werden die p-dotierte Schicht und die n-dotierte Schicht miteinander verbunden, wie es bei dem Halbleiterkristall einer Leuchtdiode geschieht, entsteht dazwischen ein pn-Übergang, der auch als Sperrschicht bezeichnet wird.¹⁹

In diesem Übergang diffundieren negative Ladungsträger aus dem n-dotierten Halbleiter zu den positiven Ladungsträgern aus dem p-dotierten Halbleiter und rekombinieren. Das hat jedoch zur Folge, dass durch den Austausch eine Neutralisation stattfindet, fast keine freien Ladungsträger mehr vorhanden sind und somit kein Strom fließt. Aufgrund der Armut an freien Ladungsträgern in der Sperrschicht, wird diese auch Verarmungszone genannt.²⁰

Damit freie Ladungsträger vorhanden sind, muss ein Stromfluss in Durchlassrichtung stattfinden, der durch Anlegen von äußerer Spannung an die

¹⁷ Vgl. Busch, Elektrotechnik, 2003, S.184.

¹⁸ Ebenda, S.184.

¹⁹ Vgl. Donath, Halbleiter, 2008, S.19.

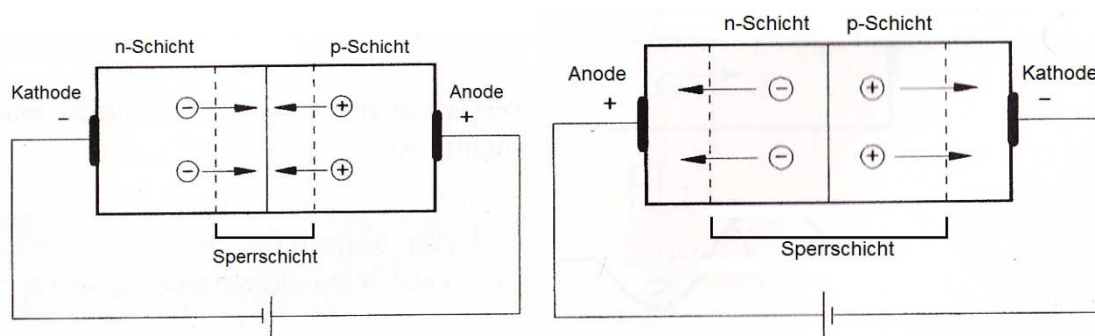
²⁰ Vgl. Lindner, Taschenbuch, 2004, S.244.

Diode erzeugt wird. Dadurch können die Elektronen wieder mit den Löchern rekombinieren und Licht entsteht.²¹ Dies wird im nächsten Punkt behandelt.

2.2.4 Durchlassrichtung und Sperrrichtung

„Das wesentliche Verhalten der Diode [lässt sich] durch den Durchlassbetrieb [...] und den Sperrbetrieb beschreiben.“²² Damit Leuchtdioden im Durchlassbetrieb funktionieren, muss der p-dotierte Halbleiter als Pluspol (Anode) und der n-dotierte Halbleiter als Minuspol (Kathode) verwendet werden. Die angelegte Spannung sorgt nun dafür, dass die Ladungsträger angeregt werden und die Sperrschichtweite sinkt. Der pn-Übergang wird damit durchlässig und Strom fließt. Die angeregten Ladungsträger können nun miteinander rekombinieren und Licht entsteht.²³

Abbildung 6: Betrieb in Durchlassrichtung (l.) und in Sperrrichtung (r.)



Quelle: Busch, 2003, S. 189 [Elektrotechnik]

Die Richtung, in der kein Strom durch die Diode fließen kann, wird als Sperrrichtung bezeichnet. Wird die Diode in Sperrrichtung angeschlossen, „zieht“ die anliegende Spannung die Sperrschicht noch weiter auseinander und ein Stromdurchfluss ist nicht möglich.²⁴

²¹ Vgl. o.V. Dioden, o.J., <http://entladung.net>.

²² Vgl. Donath, Halbleiter, 2008, S.31.

²³ Vgl. Lindner, Taschenbuch, 2004, S.245.

²⁴ Vgl. o.V., Dioden, o.J., <http://entladung.net>.

2.3 Vorzüge und Schwächen einer Leuchtdiode

2.3.1 Vorteile der LED

Die Eigenschaften der LEDs bringen eine Vielzahl von Vorzügen mit sich. Darunter zählt die hohe Energieeffizienz. LEDs der Firma Sharp bringen eine Lichtausbeute von 90 lm/W und verbrauchen nur 11% an Energie im Vergleich zu herkömmlichen Glühbirnen.²⁵

Hinzu kommt, dass die LED sofort nach dem Einschalten die volle Lichtleistung erreicht, wobei die Leuchtstofflampe am Ende der Lebenszeit flackert. Des Weiteren ist weder ein Starter noch ein Vorschaltgerät notwendig, wie sie bei der Leuchtstofflampe vorhanden sind. Aus diesem Grund wird noch mehr Energie gespart.²⁶

Ein bedeutender Punkt ist die lange Lebensdauer von Leuchtdioden. Diese liegt, je nach Hersteller und Qualität, mit bis zu 50.000 Stunden weit über dem Niveau von herkömmlichen Leuchtmitteln. Hinzu kommt die Einsparung von Wartungs- und Reparaturarbeiten, da die LEDs eine hohe Lebensdauer haben und stabil gebaut sind.²⁷

Durch die geringe Wärmeentwicklung, die Leuchtdioden mit sich bringen, werden Kosten für Klimatisierung gespart. Ebenso findet eine Kostenersparnis durch einfache Entsorgung statt. LEDs müssen nicht im Sondermüll entsorgt werden, wie Leuchtstofflampen, welche giftiges Quecksilber enthalten.²⁸

Leuchtdioden bringen ebenso Vorteile durch ihre vibrationsfeste, flache Bauweise mit sich. Bei der Herstellung werden daher Ressourcen gespart, was wiederum einen Umweltvorteil bringt.²⁹

²⁵ Vgl. Biß, Abschied Glühlampe, 2009, S.42.

²⁶ Ebenda.

²⁷ Vgl. o.V., LED-Röhre, o.J., <http://www.beleuchtung-mit-led.de/>.

²⁸ Ebenda.

²⁹ Vgl. Lindner, Taschenbuch, 2004, S.313.

Weiterhin kann die Lichtlenkung bei LEDs auch ohne Reflektor genau durchgeführt werden. Durch die reine Wiedergabe der Farben, lässt sich innovatives Lichtdesign vornehmen.³⁰

Weißer LEDs strahlen außerdem keine UV- oder Infrarotstrahlung aus. Daraus ergibt sich der Vorteil, dass Oberflächen nicht ausgebleicht werden. Außerdem können sie in noch mehr Bereichen zum Einsatz kommen z.B. zur Beleuchtung wärmeempfindlicher Materialien.³¹

Durch den Einsatz von LEDs wird weniger Strom benötigt. Daher sinkt auch der CO₂-Ausstoß bis zu 75% gegenüber herkömmlichen Leuchtstofflampen (0,6 kg CO₂/kWh).³²

2.3.2 Nachteile der LED

Wie jede Technologie bringt auch die Leuchtdiode Nachteile mit sich.

Darunter zählen die vergleichsweise hohen Anschaffungskosten. Außerdem bringen die LEDs nicht dieselbe Beleuchtungsstärke wie Leuchtstofflampen mit sich. Daher müssen entweder mehr LEDs verwendet werden oder kostenintensive Power-LEDs zum Einsatz kommen.³³

Da es LEDs von unterschiedlicher Qualität gibt, spiegelt sich dies oft hinsichtlich der Lichtstärke wieder. So lässt die Lichtstärke bei günstigen LEDs erfahrungsgemäß schneller nach als bei kostenintensiven. Ebenso findet dieser Prozess bei zu hoher Umgebungstemperatur statt, wenn die LED nicht ausreichend gekühlt wird. Daher haben Hochleistungs-LEDs einen integrierten Kühlkörper.³⁴

³⁰ Vgl. o.V., Vor- und Nachteile, o.J., <http://www.lichtmacherei.de/>.

³¹ Vgl. Sonneveld, Lichtgestaltung, 2009, S.40.

³² Vgl. o.V., Vor- und Nachteile, o.J., <http://www.lichtmacherei.de/>.

³³ Ebenda.

³⁴ Ebenda.

Ein weiterer Nachteil ist, dass LED-Röhren keinen Abstrahlwinkel von 360° haben, wie es bei den Leuchtstofflampen der Fall ist, sondern sich dieser im Bereich von 140°bewegt.³⁵

2.4 Einsatzbereiche

LEDs ermöglichen eine individuelle Beleuchtungsgestaltung und sind universell einsetzbar. Daher kommen Sie nicht nur im privaten Bereich zum Einsatz, sondern dienen auch im gewerblichen Sektor als energieeffiziente Lösung.

2.4.1 Privater Einsatz

Im privaten Bereich wurden Leuchtdioden zu Beginn lediglich in Taschenlampen verwendet, als Fahrradbeleuchtung eingesetzt oder zu dekorativen Zwecken als indirekte Beleuchtung genutzt.³⁶

Doch mit der fortlaufenden Entwicklung der Technologie, kommen weitere Einsatzbereiche dazu. Zu diesen zählen die Verwendung als Leuchtmittel im Wohnraum beispielsweise in LED-Spots oder LED-Birnen. Außerdem bieten sich LED-Lichterketten an, um eine feierliche Atmosphäre zu schaffen. Speziell zur Weihnachtsdekoration gelten sie als eine stromkostensparende Alternative.³⁷

Neben der Wohnraumbeleuchtung bieten sich wetterfeste LED-Leuchten auch als Garten- oder Außenbeleuchtung an. Dadurch kann die Gartenlandschaft in ein harmonisierendes Licht getaucht werden und die Wege des Grundstücks, sowie Fassaden des Gebäudes erstrahlen in angenehmen, individuell festlegbaren Farbtönen. Da sie oftmals die ganze Nacht zum Einsatz kommen, sorgen LEDs auch hier enorme Stromkosteneinsparungen.³⁸

Ein weiteres beliebtes Anwendungsgebiet ist das LED-Ambilight bei Fernsehergeräten. Diese von Philips entwickelte Technologie sorgt für ein

³⁵ Vgl. o.V., Vor- und Nachteile, o.J., <http://www.lichtmacherei.de/>.

³⁶ Vgl. o.V., Einsatzbereiche, o.J., <http://www.dieenergiesparlampe.de/>.

³⁷ Vgl. Biß, Abschied Glühlampe, 2009, S.43.

³⁸ Vgl. o.V., LED-Gartenleuchten, o.J., <http://led24.de/led-garten-beleuchtung/>.

erweitertes Sichtfeld beim Fernseher und schont die Augen durch eine veränderte Wahrnehmung.³⁹

Die Leuchtdiode findet weiterhin Einsatz als Lese- oder Schreibtischlampe. Aufgrund der punktgenauen Beleuchtung des Arbeitsbereiches, hinterlässt sie einen unverfälschten Farbeindruck und ermöglicht ein angenehmes Arbeiten.⁴⁰

Abbildung 7: LED-Schreibtischlampe



Quelle: <http://www.conrad.de/ce/de/product> [LED-SL]

2.4.2 Gewerblicher Einsatz

Im gewerblichen Bereich finden Leuchtdioden großen Einsatz, da sie zur Stromeinsparung und daraus resultierender Kostenreduzierung beitragen. Bisher sind LEDs aus der Automobilindustrie bekannt, da sie aufgrund ihrer robusten Bauweise und Langlebigkeit dort optimal Verwendung finden. Nicht nur bei der Innenraumbeleuchtung der Fahrzeuge kommen sie zum Einsatz, sondern auch als Tagfahrlicht oder in Bremsleuchten sorgen sie für Sicherheit durch hohe Leuchtkraft.⁴¹

In Hinsicht auf Straßenbeleuchtung machen LEDs derzeit große Fortschritte. Sie sorgen nicht nur für die Fahrsicherheit aufgrund ihrer Helligkeit von beispielsweise 6800 lm, sondern sparen enorme Energiekosten ein.⁴²

Bei Verkehrsampeln findet ebenso eine Umrüstung auf LED statt. Dadurch wird einerseits die Sicherheit erhöht, da selbst bei starker Sonneneinstrahlung die

³⁹ Vgl. o.V., Ambilight, o.J., <http://www.philips.de/c/fernsehgeraete/>.

⁴⁰ Vgl. o.V., LED-SL, o.J., <http://www.conrad.de/ce/de/product/>.

⁴¹ Vgl. Braker, Automobile, 2008, <http://www.stern.de/auto/>.

⁴² Vgl. o.V., LED-Straßenbeleuchtung, o.J., <http://www.rwe.com/>.

Ampelfarbe aufgrund der hohen Leuchtkraft sichtbar ist. Andererseits erhöhen sich die Wartungsintervalle, da LEDs sehr langlebig sind.⁴³

Doch auch als Lichtwerbung, Schaufenster- und Objektbeleuchtung finden sie ihren Einsatz. Als weltweit bekannte Objekte der LED-Technologie gelten das für die Olympischen Sommerspiele 2008 in Peking erbaute nationale Schwimmzentrum „Watercube“ und das Olympiastadion „Birds Nest“. Im Watercube wurden 496.000 LEDs des Unternehmens Cree in den Farben rot, grün und blau verbaut. Die äußere Hülle des Gebäudes gleicht der Struktur von unterschiedlich großen Seifenblasen, die individuell beleuchtet werden können. Beim Bird's Nest wurden 258.000 LEDs verbaut.⁴⁴

Abbildung 8: Water Cube in Peking



Quelle: http://www.vancouver.com/static/stored_images [WC Peking]

Ein weiteres Einsatzgebiet finden die LEDs als Scheinwerfer für Bühnen und Dekorationsbeleuchtung. Dabei spielen die RGB-LEDs eine Rolle, die Lichtdesign über das gesamte Farbspektrum bieten, indem entweder 3 LEDs der Farben rot, grün und blau verwendet werden oder eine Lösung mit SMD-LEDs eingesetzt wird. Letzteres erfolgt, indem „drei Chips in den Grundfarben in einem Gehäuse vereint [werden]“⁴⁵. Diese Variante ist besser, da der Abstand der Chips kleiner ist als bei der ersten Variante und somit eine bessere Farbmischung erzielt werden kann.⁴⁶

⁴³ Vgl. o.V., Einsatzbereiche, o.J., <http://www.dieenergiesparlampe.de/>.

⁴⁴ Vgl. o.V., Olympische Spiele, o.J. <http://www.cree.com/press/Olympics.asp>.

⁴⁵ Vgl. Sonneveld, Lichtgestaltung, 2009, S.40.

⁴⁶ Ebenda.

2.5 Weltweite Hersteller

Zu den drei erfolgreichsten LED-Herstellern weltweit zählt die japanische Nichia Corporation, welche als führender Hersteller weißer Leuchtdioden gilt, der Vertrieb jedoch nur an die Industriebranche erfolgt. Platz 2 belegt die Osram Opto, die ein umfangreiches Angebot an LEDs, optische Sensoren, OLED-Displays und LED-Modulen aufweist. Den dritten Platz belegt Lumileds/ Philips, die führend in der Herstellung von Power-LEDs unter der Marke „Luxeon“ sind. Allein diese drei Hersteller besitzen einen Marktanteil von 41%.⁴⁷

Auf den weiteren Plätzen folgt das südkoreanische Unternehmen Seoul Semiconductor, welches sehr leistungsfähige LEDs herstellt und die beiden japanischen Hersteller Citizen und Toyoda Gosei, die gute Wachstumsraten erzielt haben. Weiterhin gilt die Firma Cree als weltweit größter LED-Chip-Hersteller, dessen Chips auch in Produkten von Seoul Semiconductor oder Edison-Opto verbaut sind. Ebenso ist Samsung in die Produktion von LEDs eingestiegen und hat sich gut am Markt etabliert. Diese finden überwiegend Einsatz in Handys und TFT-Panelen. Seit 2008 vertreibt Samsung seine eigenen Produkte.⁴⁸

Viele dieser genannten Hersteller vertreiben ihre Produkte bei LED1.de, einem der größten LED-Shops in Europa. Zu den angebotenen Artikeln zählen High-Power-LEDs, RGB-LEDs, SMD-LED-Module, Controller, Strahler und viele Zubehörartikel.⁴⁹

2.6 Zukünftige Entwicklung

Die Suche und Entwicklung nach weiteren energieeffizienten Leuchtmitteln, die Alternativen zur derzeit am Markt vorhandenen LED bieten sollen, hält an. Ein aktueller Trend ist die Weiterentwicklung der OLEDs, den organischen Leuchtdioden. Diese wurden bisher in Displays in Fernsehergeräten, Autoradios, Musikplayern oder Mobiltelefonen verbaut. Doch aufgrund ihrer „exzellenten Farbdarstellung, dem sehr hohen Kontrast [und dem]

⁴⁷ Vgl. Würtenberg, Hersteller, 2009, <http://www.elektroniknet.de/>.

⁴⁸ Ebenda.

⁴⁹ Vgl. o.V., LED-Shop, o.J., <http://www.led1.de/shop/>.

vergleichsweise geringen Stromverbrauch⁵⁰ wächst ihre Bedeutung auch für den Beleuchtungsmarkt. Die OLED soll einen noch größeren Bereich an Einsatzmöglichkeiten abdecken und speziell der Flächenbeleuchtung dienen. Sie bietet mit 50-100 lm/W eine Energieeffizienz, die so hoch ist wie die der Leuchtstofflampen. Weiterhin ist die Lebensdauer von bis zu 100.000 Stunden doppelt so hoch wie die normaler Leuchtdioden. Dabei funktioniert die organische Leuchtdiode ähnlich wie die Anorganische. Der Unterschied liegt lediglich an der Dicke und der Art des verwendeten Materials.⁵¹

3. Sicherheitsbeleuchtung im Gebäude

Die Beleuchtung von Fluchtwegen und Notausgängen spielen im Gebäude eine wichtige Rolle. Dazu müssen Sicherheitsanforderungen erfüllt werden hinsichtlich Beleuchtungsstärke oder Leuchtdichte. Um diese und weitere lichttechnischen Begriffe zu verstehen, wird zu Beginn eine kurze Einführung gegeben. Weiterhin wird sich mit der Sicherheitsbeleuchtung des Ferdinand-Pester-Hauses als praktisches Beispiel beschäftigt.

3.1 Erklärung der Begriffe

Sowohl in den Anforderungen an die Sicherheitsbeleuchtung, als auch im Leuchtmittelvergleich kommen die Begriffe Lichtstrom, Lichtstärke, Beleuchtungsstärke, Leuchtdichte oder Farbtemperatur zum Einsatz.

3.1.1 Der Begriff Sicherheitsbeleuchtung

Um ein gefahrloses Verlassen des Gebäudes zu ermöglichen und den Einsatz von Rettungskräften zu sichern, ist eine Notbeleuchtung erforderlich. Der Einsatz von Notbeleuchtung ist durch die DIN VDE 0100-718 vorgeschrieben, sobald „durch den Ausfall der Allgemeinbeleuchtung wirtschaftlicher oder körperlicher Schaden entstehen kann“⁵².

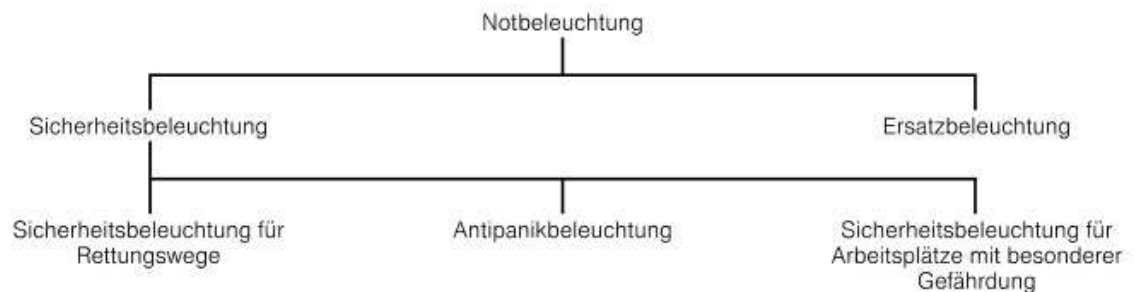
⁵⁰ Vgl. Haldi, OLEDs, 2009, S.48.

⁵¹ Ebenda, S.49f.

⁵² Vgl. o.V., Sicherheitsbeleuchtung, o.J., <http://www.schorisch-systems.de/>.

Die Europäische Norm DIN EN 1838 definiert dazu Mindestanforderungen. Bei der Notbeleuchtung findet eine Unterteilung in Sicherheits- und Ersatzbeleuchtung statt (Abb. 9).

Abbildung 9: Unterteilung der Notbeleuchtung



Quelle: DIN EN 1838, S. 2.

Da in dieser Arbeit die Sicherheitsbeleuchtung im Vordergrund steht, wird auf die in der Abbildung aufgeführte Ersatzbeleuchtung nicht eingegangen. Diese dient lediglich dazu, bei Netzausfall Arbeiten eine bestimmte Zeit weiterzuführen.⁵³

Die Ziele der Sicherheitsbeleuchtung sind dabei das gefahrlose Verlassen von Einrichtungen bei Ausfall der Allgemeinstromversorgung, gesicherte Sehbedingungen in den Rettungswegen zur Orientierung und einfaches Auffinden von Sicherheits- und Brandbekämpfungseinrichtungen.⁵⁴

Die Sicherheitsbeleuchtung für Rettungswege muss bestimmte Anforderungen der DIN EN 1838 erfüllen.

Dazu zählen, um nur einige davon zu nennen,

- dass eine Montagehöhe von mindestens 2 m über dem Boden eingehalten werden muss,
- die Rettungszeichen entlang des Fluchtweges beleuchtet oder hinterleuchtet sein müssen und gegebenenfalls die Richtung anzeigen,
- die Mindestbeleuchtungsstärke bei Rettungswegen mindestens 1 lx betragen muss, um die notwendigen Sichtverhältnisse zu schaffen,
- die Nennbetriebsdauer 1 Stunde betragen muss,

⁵³ Vgl. DIN EN 1838 - Notbeleuchtung, 1999, S.3.

⁵⁴ Ebenda, S.3.

- innerhalb von 5 Sekunden 50 %, innerhalb von 60 Sekunden 100% der geforderten Beleuchtungsstärke erreicht sein muss.⁵⁵

Die DIN EN 1838 schreibt weiterhin vor, dass Sicherheitsleuchten in folgenden Situationen vorhanden sein müssen:

- bei jeder Richtungsänderung,
- bei jeder Kreuzung der Gänge und Flure,
- außerhalb und nahe jedem Ausgang,
- nahe jeder Erste-Hilfe-Stelle, Brandbekämpfungs- und Meldeeinrichtung,
- an Notausgängen und Sicherheitszeichen,
- und nahe Treppen.⁵⁶

Da sich im Ferdinand-Pester-Haus sowohl Verkaufsstätten wie Ernsting's Family oder Rossmann, als auch Büros von Versicherungen, einem Notar und der BHS befinden, ist demzufolge eine entsprechende Sicherheitsbeleuchtung bei Ausfall der Allgemeinbeleuchtung installiert. Weiterhin gibt es in dem Gebäude Wohnungen, Treppenhäuser, eine Tiefgarage, Keller und Räume für technische Anlagen, um nur einige zu nennen.

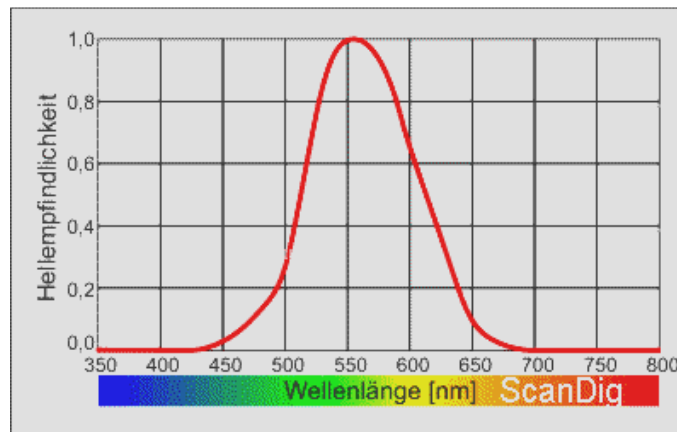
3.1.2 Die Begriffe der Fotometrie

Grundlegend ist festzuhalten, dass das Auge Licht als elektromagnetische Strahlung wahrnimmt und auf einen bestimmten Wellenlängenbereich angepasst ist. Dieser bewegt sich zwischen 380 nm und 780 nm. Verschiedene Wellenlängen hinterlassen im Auge verschiedene Farbeindrücke. Kurze Wellenlängen von 380 nm ergeben die Farbe Blau, lange Wellenlängen von 550 nm die Farbe Grün. Die Augenempfindlichkeit bzw. Hellempfindlichkeit hängt also von der Wellenlänge ab.⁵⁷ Dies ist anhand folgender Abbildung nachzuvollziehen.

⁵⁵ Vgl. DIN EN 1838 - Notbeleuchtung, 1999, S.4.

⁵⁶ Ebenda, S.4.

⁵⁷ Vgl. Lunze, E-technik, 1965, S.128.

Abbildung 10: Hellempfindlichkeitsdiagramm

Quelle: <http://www.filmscanner.info/Fotometrie.html> [Fotometrie]

Die Fotometrie ist ein Bereich der Optik und bildet die „physiologische Farbwahrnehmung des menschlichen Auges messtechnisch nach“⁵⁸. Dabei findet keine Bewertung des Lichts anhand physikalischer Leistungen statt, sondern eine physiologische Bewertung der Helligkeitsempfindung des Auges. Die Größen Lichtstrom, Lichtstärke, Beleuchtungsstärke und Leuchtdichte werden daher als fotometrische Größen bezeichnet, weil sie auf Beobachtungen zahlreicher Testpersonen basieren.⁵⁹

3.1.2.1 Lichtstrom

Der Lichtstrom einer Lichtquelle ist die Strahlungsleistung im Wellenbereich des sichtbaren Lichtes und wird in der Einheit Lumen [lm] angegeben. Das Verhältnis aus Lichtstrom und elektrischer Leistung ist die Lichtausbeute. Sie wird in lm / W angegeben und auch als Wirkungsgrad einer Lichtquelle bezeichnet.⁶⁰

Beispiel: Leuchtmittel E27 mit 38 LEDs

Leistungsaufnahme: 2,1 W

Lichtstrom: 60 lm.

Lichtausbeute= $60 \text{ lm} / 2,1 \text{ W} = 28,57 \text{ lm} / \text{W}$.

⁵⁸ Vgl. Wagner, Fotometrie, o.J., <http://www.filmscanner.info/Fotometrie.html>.

⁵⁹ Ebenda.

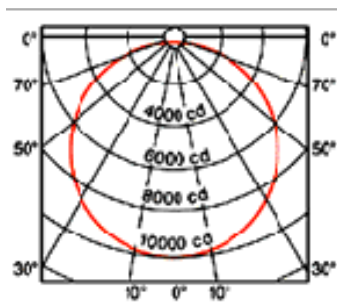
⁶⁰ Vgl. Lunze, E-technik, 1965, S.128.

Dieser Wirkungsgrad gibt Auskunft über die Energieeffizienz des Leuchtmittels. „Je höher das Verhältnis Lumen/Watt, desto besser setzt eine Lampe die eingebrachte Energie in Licht um.“⁶¹

3.1.2.2 Lichtstärke

Die Lichtstärke einer Lichtquelle berechnet sich aus dem Lichtstrom, der in einen bestimmten Raumwinkel abgestrahlt wird. Die Einheit der Lichtstärke wird in Candela [cd] angegeben.⁶² Da die Lichtstärke nicht von der Entfernung zur Lichtquelle abhängt, sondern vom betrachteten Raumwinkel, bringt das Leuchtmittel beim seitlichen Abstrahlen eine andere Lichtstärke als beim Strahlen direkt nach unten. Das aufgeführte Polardiagramm (Abb. 11) macht den Zusammenhang zwischen Raumwinkel und Lichtstärke deutlich.⁶³

Abbildung 11: Polardiagramm



Quelle: <http://www.buehrerlicht.ch/abc.php> [Polardiagramm]

3.1.2.3 Beleuchtungsstärke

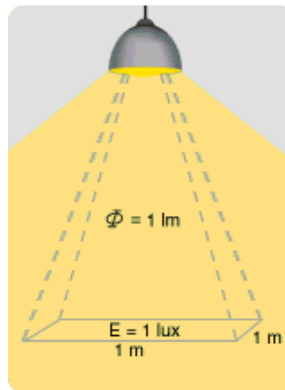
Unter Beleuchtungsstärke wird der Lichtstrom verstanden, der auf eine Fläche auffällt. Die Einheit der Beleuchtungsstärke ist Lux [lx] und wird berechnet aus Lichtstrom pro Fläche [lm / m^2].⁶⁴ Laut Abbildung 12 ergibt 1 lm Lichtstrom, der auf eine Fläche von 1 m² fällt, eine Beleuchtungsstärke von 1 Lux.

⁶¹ Vgl. o.V., Lichtausbeute, o.J., <http://www.licht.de/de/info-und-service/>.

⁶² Vgl. Lunze, E-technik, 1965, S.128.

⁶³ Vgl. Wagner, Fotometrie, o.J., <http://www.filmscanner.info/Fotometrie.html>.

⁶⁴ Vgl. Lunze, E-technik, 1965, S.128.

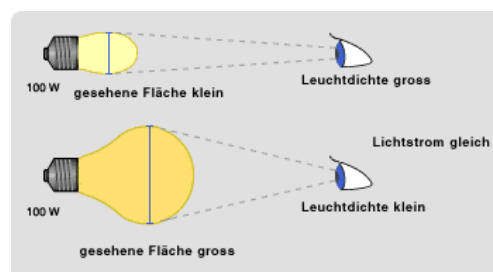
Abbildung 12: Beleuchtungsstärke

Quelle: http://www.osram.ch/osram_ch/DE/Lichtplanung [Lichtgrößen]

3.1.2.4 Leuchtdichte

Die Leuchtdichte gibt an, „welche Lichtstärke von einer bestimmten Fläche aus in den Raum abgestrahlt wird“⁶⁵. Die Einheit für die Leuchtdichte ist cd / m^2 . Mit Hilfe dieser Größe können Aussagen über den Helligkeitseindruck einer Lichtquelle getroffen werden. Das Auge empfindet eine Lichtquelle als heller, je mehr Lichtstrom von der Lichtquelle ausgestrahlt wird bzw. je kleiner die Fläche ist, welche Licht ausstrahlt.⁶⁶

Die untere Abbildung 13 soll dies verdeutlichen. Darin sind zwei Leuchtmittel unterschiedlicher Größe gegeben, die jedoch den gleichen Lichtstrom und die gleiche Leistung bringen. Beide stehen in gleicher Entfernung zum menschlichen Auge. Durch die unterschiedliche Größe der Leuchtmittel wird bei dem Kleineren eine höhere Leuchtdichte wahrgenommen, als bei dem größeren Leuchtmittel.

Abbildung 13: Leuchtdichte

Quelle: http://www.osram.ch/osram_ch/DE/Lichtplanung [Lichtgrößen]

⁶⁵ Vgl. Wagner, Fotometrie, o.J., <http://www.filmscanner.info/Fotometrie.html>.

⁶⁶ Ebenda.

3.1.2.5 Lichtfarbe

Auf den Verpackungen von Leuchtmitteln werden meist Angaben zur Lichtfarbe gemacht. Die Lichtfarbe eines Leuchtmittels wird durch die Farbtemperatur, beschrieben. Dabei ist jeder Lichtfarbe eine Farbtemperatur und Bezeichnung zugeordnet.⁶⁷ Abbildung 14 zeigt diese Zuordnung.

Abbildung 14: Beispiele für Farbtemperaturen

Lichtfarbe	Farb-temperatur in Kelvin	Bezeichnung
534	3400	Warmton
542	4200	Neutralweiss
634	3400	Warmton
640	4000	Neutralweiss
642	4200	Neutralweiss
827	2700	Warmton-extra / Interna
830	3000	Warmton
840	4000	Neutralweiss
865	6500	Tageslicht
930	3000	Warmton
940	4000	Neutralweiss
950	5000	Tageslicht
965	6500	Tageslicht

Quelle: <http://www.licht-und-mehr.de/portal/lichtfarben/1240.html> [Farbtemp.]

Im Wohnbereich werden überwiegend Warmtöne verwendet, um eine gemütliche und behagliche Atmosphäre zu erzeugen. In Arbeitsstätten hingegen kommen oftmals Leuchtmittel mit höheren Farbtemperaturen zum Einsatz, um eine sachliche Umgebung zu schaffen, in der produktiv gearbeitet werden kann.⁶⁸

Die Farbtemperatur wird ermittelt, indem die Farbe einer Lichtquelle z.B. Glühlampe mit einem schwarzen Körper verglichen wird. Ein schwarzer Körper gilt als ideal, weil er das gesamte auf ihn fallende Licht absorbiert. Wird dieser schwarze Körper erhitzt, gibt er ein bestimmtes Strahlungsspektrum ab.⁶⁹ Dabei durchläuft er eine Farbskala von dunkelrot bis hin zu hellblau. Diese Lichtfarben werden mit Anstieg der Temperatur umso heller. Sie verschieben sich vom Rot zum Blau. Bei einer Temperatur von 6500 K hat der schwarze Körper

⁶⁷ Vgl. o.V., Lichtgrößen, o.J., http://www.osram.ch/osram_ch/DE/Lichtplanung.

⁶⁸ Ebenda.

⁶⁹ Vgl. Wagner, Fotometrie, o.J., <http://www.filmscanner.info/Fotometrie.html>.

beispielsweise ein Strahlungsspektrum, welches der Tageslichtfarbe entspricht.⁷⁰ Auf diesem Weg werden die Lichtfarben und die dazugehörigen Farbtemperaturen ermittelt.

Um die theoretischen Grundlagen der einzelnen fotometrischen Größen zu veranschaulichen, sind im Anhang 3 - 6 verschiedene Tabelle mit Beispielen zusammengestellt.

3.2 Analyse der Sicherheitsbeleuchtung im Ferdinand-Pester-Haus

In der folgenden Tabelle wird aufgeführt, welche Leuchten und Leuchtmittel im Ferdinand-Pester-Haus als Sicherheitsbeleuchtung zum Einsatz kommen.

Tabelle 1: Übersicht Leuchtmittel

Anzahl	Leuchte	Leuchtmittelart	Leuchtmittelleistung	Größe	Sockel
37	Rasterleuchte	Leuchtstofflampe	18 W	60 cm	G13
9	Piktogramm	Leuchtstofflampe	6 W	21 cm	G 5
8	Rasterleuchte	Leuchtstofflampe	14 W	60 cm	G 5
6	Piktogramm	Leuchtstofflampe	8 W	-	G 5
3	Wandleuchte	Leuchtstofflampe	58 W	150 cm	G 13
4	Wandleuchte	Kompakt-Leuchtstofflampe	13 W	-	G24q-1
2	Deckenleuchte	Energiesparlampe	9 W	-	E27

Quelle: Eigene Darstellung

Zu erkennen ist, dass der größte Teil an Leuchtstofflampen in Rasterleuchten verbaut ist. Diese finden überwiegend Anwendung in den Büros und Fluren, aber auch bei der Beleuchtung der Geschäfte Rossmann und Ernsting's Family.

Weiterhin gibt es hinterleuchtete Piktogramme zur Wegweisung in Notfällen, die in zwei verschiedenen Ausführungen vorzufinden sind. Zum einen mit einer 6 W, zum anderen mit einer 8 W Leuchtstofflampe. Diese kommen in den Treppenhäusern und Gängen, in der Tiefgarage und in den Verkaufsstätten

⁷⁰ Vgl. Schielke, Licht, o.J., <http://www.instandhaltung.de/>.

zum Einsatz. In den Räumlichkeiten von Ernsting's Family sind weitere zwei 9 W Energiesparlampen verbaut.

Als stromsparenderes Leuchtmittel gegenüber den üblichen T8-Leuchtstoffröhren (18W, G13) wurden acht Leuchtstofflampen mit 14 W in Rasterleuchten der Flure eingebaut. Außerdem kommen 13 W Kompaktleuchtstofflampen in den Treppenhäusern des Gebäudes zum Einsatz.

Im Ferdinand-Pester-Haus werden die Sicherheitsleuchten in Dauerschaltung betrieben. Das bedeutet, dass diese mit den Leuchten zur Allgemeinbeleuchtung geschaltet werden und bei Netzausfall die Sicherheitsleuchte automatisch in den Notbetrieb umgeschaltet wird.

Ausführlich beschrieben laufen folgende Schritte bei Ausfall der Allgemeinstromversorgung ab:

Bei Netzausfall im Gebäude des Ferdinand-Pester-Hauses werden die vorher mit Wechselspannung betriebenen Sicherheitsleuchten durch die Sicherheitsstrom-versorgung mit Gleichspannung versorgt. Zusätzlich werden Bereitschaftsleuchten in der E-Werkstatt und im Hausanschlussraum eingeschaltet, damit dem Elektriker im Notfall eine Orientierung gewährleistet wird. Die Leuchten bei Rossmann und Ernsting's Family werden mit einem universellen Vorschaltgerät betrieben und können somit von Wechsel- in Gleichspannung umschalten. Im gesamten Gebäude sorgen ca. 15 USVs an Computern, Beamern, Türklingel- und Gegensprechanlagen und Kesselsystemen für ein weiteres Funktionieren. Für den Betrieb des Kessels im Notfall zur Wärme- und Warmwasserversorgung ist ein benzinbetriebenes Notstromaggregat zuständig.

3.3 Möglichkeiten der Umrüstung auf LED-Beleuchtung

Bei der Umrüstung vorhandener Sicherheitsleuchten auf LED-Technik gibt es die Möglichkeit komplett neue Leuchten mit LED-Leuchtmitteln einzubauen oder einen Austausch des Leuchtmittels vorzunehmen. Diese zwei Varianten werden im Folgenden beschrieben.

3.3.1 Einbau neuer Leuchten

Der Einbau einer komplett neuen Leuchte mit LED-Leuchtmitteln bringt den Vorteil, dass bei der Installation durch geeignetes Fachpersonal nicht die VDE-Genehmigung erlischt. Da diese jedoch auch bei jeder kleinsten Veränderung der Leuchte, selbst bei einem Wechsel des Leuchtmittels, erlischt, kann dieses Argument als nicht maßgeblich bewertet werden.⁷¹

Der Nachteil am Einbau neuer Leuchten sind die hohen Investitionskosten und Umbaukosten. Eine neue Sicherheitsleuchte mit LEDs kostet beispielsweise 350 €⁷², wo hingegen ein einfaches LED-Leuchtmittel, welches in die Fassung einer vorinstallierten 18 W Leuchtstofflampe passt, nur 35,95 €⁷³ kostet. Außerdem ist nicht immer klar, ob ausreichend Platz in der Decke vorhanden ist, um eine weitere Leuchten einzubauen.

3.3.2 Austausch des Leuchtmittels

Sowohl bei der Umrüstung von Allgemeinbeleuchtung auf LED-Lösungen, als auch bei der Umrüstung von Sicherheitsbeleuchtung auf LEDs, sind die Umbaumaßnahmen relativ einfach. Es genügt der Ausbau des Starters und das Überbrücken bzw. der Ausbau des Vorschaltgerätes, welche für den Betrieb der Leuchtstofflampe notwendig waren. Das passende LED-Leuchtmittel kann danach eingesetzt werden. Selbstverständlich ist vor der Installation die Stromversorgung auszuschalten.⁷⁴ Hier ist jedoch anzumerken, dass der Umbau auf eigenes Risiko erfolgt, da die VDE-Genehmigung, wie oben beschrieben, erlischt.

Bei einem Einsatz von LEDs sollte weiterhin beachtet werden, dass sie immer mit einem strombegrenzenden Vorwiderstand betrieben werden müssen, da bei Leuchtdioden eine kleine Betriebsspannungsänderung eine große Stromänderung zu Folge hat. Bei Leuchtmitteln mit LEDs ist dieser

⁷¹ Vgl. Moder, Email 1, 2010.

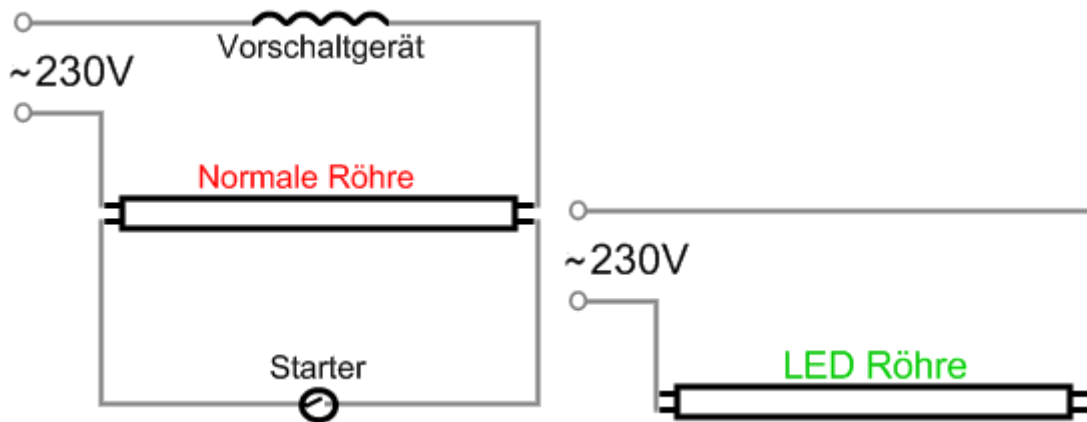
⁷² Vgl. Schippmann, Email 4, 2010.

⁷³ Vgl. o.V., LED-Röhre, o.J., <http://www.beleuchtung-mit-led.de/>.

⁷⁴ Ebenda.

Vorwiderstand bereits berücksichtigt.⁷⁵

Abbildung 15: Installationshinweis für LL (l.) und LED-Röhre (r.)



Quelle: <http://www.beleuchtung-mit-led.de/> [LED-B]

Wichtig für die Sicherheitsbeleuchtung ist, dass „die Elektroniken, die den Leuchtmitteln [...] vorgeschaltet sind, sowohl für Wechsel- als auch für Gleichspannung geeignet sein müssen“⁷⁶. Da die meisten Vorschaltgeräte für LEDs auch für den Gleichstrombetrieb ausgelegt sind und „entweder mit konstanter Spannung oder Strom vom Vorschaltgerät betrieben [werden]“⁷⁷, stellt ein Austausch des Leuchtmittels keine Probleme dar. Wichtig ist, dass die geforderte Mindestbeleuchtungsstärke bei Sicherheitsbeleuchtung von 1 lux eingehalten wird und folgende Normen beachtet werden:

- DIN EN 1838: Angewandte Lichttechnik – Notbeleuchtung,
- DIN V VDE V 0108-100: Sicherheitsbeleuchtungsanlagen,
- DIN EN 60598-2-22: Besondere Anforderungen - Leuchten für Notbeleuchtung,
- DIN 4844-1: Graphische Symbole – Sicherheitsfarben und Sicherheitszeichen⁷⁸

⁷⁵ Vgl. o.V., LED-Röhre, o.J., <http://www.beleuchtung-mit-led.de/>.

⁷⁶ Vgl. Moder, Email 1, 2010.

⁷⁷ Vgl. Kittelmann, Email 3, 2010.

⁷⁸ Ebenda.

4 Vergleich herkömmlicher Leuchtmittel mit LED

Wie im vorherigen Abschnitt ersichtlich wurde, gibt es im Ferdinand-Pester-Haus verschiedene Leuchtmittel der Sicherheitsbeleuchtung. Diese werden den LED-Lösungen gegenübergestellt und über eine Amortisationsrechnung wird entschieden, ob sich eine Investition lohnt.

4.1 Gegenüberstellung der LEDs zu bisher eingesetzten Leuchtmitteln

Um zu entscheiden, ob eine Umrüstung der herkömmlichen Beleuchtung auf Leuchtdioden lohnt, ist ein Vergleich der Eigenschaften notwendig. In den folgenden Tabellen werden die bisherigen Leuchtmittel mit den passenden LED-Lösungen anhand der Kriterien Preis, Leistung, Lebensdauer, Lichtfarbe, Lichtstrom und Abstrahlwinkel verglichen.

Als erstes erfolgt der Vergleich zwischen Leuchtstofflampen mit LED-Röhren. Zu erkennen ist, dass der Preis der neuen Alternative um vieles höher ist im Vergleich zum alten Leuchtmittel. Die Leistungsaufnahme der LED-Röhre ist um mehr als das Doppelte geringer, wodurch Stromkosten eingespart werden.

Als weiterer positiver Aspekt gilt die Lebensdauer der LED-Röhre. Sie ist mit 50.000 Stunden mehr als doppelt so hoch wie die der Leuchtstofflampe. Zu bemängeln ist jedoch der Lichtstrom, der weniger als halb so hoch ist, wie der des alten Leuchtmittels. Das bedeutet eine verminderte Strahlungsleistung (Helligkeit).

In Hinsicht auf Farbtemperaturen, die individuell auswählbar sind, werden passende LED-Röhren in warmweiß, neutralweiß oder tageslichtweiß angeboten. Daher ist es möglich, dass hier nicht identisch die gleiche Lichtfarbe ausgewählt wurde. Der Abstrahlwinkel der LED-Röhre gibt aufgrund ihrer Bauweise 140° her. Mit Hilfe von Reflektoren kann dieser erhöht werden. Leuchtstofflampen hingegen strahlen volle 360° aus.

Tabelle 2: Vergleich Leuchtmittel Nr. 1

Kriterium	1a) LED-Röhre 60 cm mit 9 W ⁷⁹	1b) Leuchtstofflampe 60 cm mit 18W ⁸⁰
Preis	36,95 €	5,99 €
Leistung	9 W	18 W
Lebensdauer	50.000 Stunden	20.000 Stunden
Farbtemperatur (Lichtfarbe)	3000 K (warmweiß)	4000 K (neutralweiß)
Lichtstrom	700 lm	1350 lm
Abstrahlwinkel	140°	360°

Quelle: Eigene Darstellung

Der Wirkungsgrad der 18 W Leuchtstofflampe beträgt: $1350 \text{ lm} / 18 \text{ W} = 77 \text{ lm} / \text{W}$ und bei der 9 W LED-Röhre $700 \text{ lm} / 9 \text{ W} = 78 \text{ lm} / \text{W}$. Dieser Wert ist fast gleich und bedeutet eine gute Umsetzung der Energie in Licht. Die Leistungs- und Lichtstromangaben entsprechen der Energieeffizienzklasse A. Am Ende dieses Kapitels werden alle hier im Vergleich aufgeführten Leuchtmittel im Energieeinspardiagramm eingetragen.

Tabelle 3: Vergleich Leuchtmittel Nr. 2

Kriterium	2a) LED-Röhre 60 cm mit 6 W ⁸¹	2b) Leuchtstofflampe 60 cm mit 14W ⁸²
Preis	59,26 €	7,99 €
Leistung	6 W	14 W
Lebensdauer	50.000 h	20.000 h
Farbtemperatur (Lichtfarbe)	5000 K (neutralweiß)	3000 K (warmweiß)
Lichtstrom	468 lm	1650 lm
Abstrahlwinkel	140°	360°

Quelle: Eigene Darstellung

⁷⁹ Vgl. o.V., LED-Röhre, o.J., <http://www.beleuchtung-mit-led.de/>.

⁸⁰ Vgl. o.V., T8, o.J., <http://www.conrad.de/ce/de/product/>.

⁸¹ Vgl. o.V., T5, o.J., <http://www.lampenheini.de/-LED-Leuchtmittel-Form-Roehre>.

⁸² Vgl. o.V., T5 LL, o.J., <http://www.conrad.de/ce/de/product/>.

Bei dieser 14 W Leuchtstofflampe beträgt der Wirkungsgrad: $1650 \text{ lm} / 14 \text{ W} = 118 \text{ lm} / \text{W}$. Dieser erhöhte Wirkungsgrad ist der Grund dafür, warum die üblichen 18 W Leuchtstofflampen oftmals gegen solche mit 14 W ausgetauscht wurden. Die Stromersparnis ist höher.

Der Wirkungsgrad der passenden 6 W LED-Röhre beläuft sich auf: $468 \text{ lm} / 6 \text{ W} = 78 \text{ lm} / \text{W}$. Er ist somit schlechter als der der Leuchtstofflampe.

Tabelle 4: Vergleich Leuchtmittel Nr. 3

Kriterium	3a) LED-Röhre 150 cm mit 22,5 W ⁸³	3b) Leuchtstofflampe 150 cm mit 58 W ⁸⁴
Preis	69,95 €	8,90 €
Leistung	22,5 W	58 W
Lebensdauer	50.000 h	20.000 h
Farbtemperatur (Lichtfarbe)	6000 K (neutralweiß)	6500 K (tageslichtweiß)
Lichtstrom	1800 lm	5200 lm
Abstrahlwinkel	140°	360°

Quelle: Eigene Darstellung

Die hier beschriebene 58 W Leuchtstofflampe erreicht einen Wirkungsgrad von: $5200 \text{ lm} / 58 \text{ W} = 90 \text{ lm} / \text{W}$. Der Wirkungsgrad der 22,5 W LED-Röhre beträgt: $1800 \text{ lm} / 22,5 \text{ W} = 80 \text{ lm} / \text{W}$. Im Vergleich arbeitet die Leuchtstofflampe, wenn auch nur um einen geringen Teil, effizienter als die LED-Röhre.

Als nächstes werden die unterschiedlichen Piktogramme miteinander verglichen. Dabei ist zu erkennen, dass für die LED typisch die Leistungsaufnahme geringer ist, als die der Leuchtstofflampen. Der Unterschied in Hinsicht auf Lebensdauer ist enorm. Die LED-Lösung hält 45.000 Stunden länger als die herkömmliche Variante.

Angaben zur Farbtemperatur konnten in diesem Fall nicht herausgefunden werden. Zu erkennen ist der große Unterschied bei den Lichtstromwerten. Doch da die hier aufgeführten LED-Leuchtmittel den vorgeschriebenen Vorschriften entsprechen und vom VDE geprüft sind, lässt sich daraus schließen, dass diese

⁸³ Vgl. o.V., SMD-Röhre, o.J., http://www.beleuchtung-mit-led.de/product_info.php/.

⁸⁴ Vgl. o.V., G13, o.J., www.leuchtenzentrale.de/Leuchtenzentrale/G13-58W--kaltweiss.

verminderte Strahlungsleistung keine Benachteiligung in der Sicherheitsbeleuchtung mit sich bringt.

Tabelle 5: Vergleich Leuchtmittel Nr. 4

Kriterium	4a) LED-Röhre mit 2 W ⁸⁵	4b) Leuchtstofflampe mit 6 W ⁸⁶
Preis	18,00 €	3,99 €
Leistung	2 W	6 W
Lebensdauer	50.000 h	5.000 h
Farbtemperatur (Lichtfarbe)	o.A.	o.A.
Lichtstrom	45 lm	260 lm bei Notlicht
Abstrahlwinkel	140°	360°

Quelle: Eigene Darstellung

Der Wirkungsgrad bei der eingesetzten 6 W Leuchtstofflampe beträgt: 260 lm / 6 W = 43 lm / W. Im Vergleich zur LED-Variante, die einen Wirkungsgrad von nur: 45 lm / 3 W = 15 lm / W aufweist, ist ein Unterschied zu erkennen.

Tabelle 6: Vergleich Leuchtmittel Nr. 5

Kriterium	5a) LED-Röhre mit 3 W ⁸⁷	5b) Leuchtstofflampe mit 8 W ⁸⁸
Preis	21,00 €	2,99 €
Leistung	3 W	8 W
Lebensdauer	50.000 h	5.000 h
Farbtemperatur (Lichtfarbe)	o.A.	o.A.
Lichtstrom	60 lm	260 lm bei Notlicht
Abstrahlwinkel	o.A.	360°

Quelle: Eigene Darstellung

⁸⁵ Vgl. Moder, Email 2, 2010.

⁸⁶ Vgl. o.V., Notleuchten, o.J., www.ks-licht.de/products/de/Notleuchten/.

⁸⁷ Vgl. Moder, Email 2, 2010.

⁸⁸ Vgl. o.V., Notleuchten, o.J., www.ks-licht.de/products/de/Notleuchten/.

Bei der hier verwendeten 8 W Leuchtstofflampe beträgt der Wirkungsgrad: $260 \text{ lm} / 8 \text{ W} = 32,5 \text{ lm} / \text{W}$. Der Wirkungsgrad der LED-Röhre hingegen liegt bei: $60 \text{ lm} / 3 \text{ W} = 20 \text{ lm} / \text{W}$. Auch hier arbeitet die Leuchtstofflampe effizienter als die LED-Röhre.

Im Folgenden wird die Kompaktleuchtstofflampe verglichen. Hierbei ist zu erkennen, dass der Preis des LED-Leuchtmittels wieder um vieles höher ist als der der Kompaktleuchtstofflampe. Die Leistungsaufnahme ist auch hier geringer und die Lebensdauer um vieles höher, als die des eingesetzten Leuchtmittels. Der Abstrahlwinkel beträgt bei beiden Leuchtmitteln 140° .

Der Wirkungsgrad der 13 W Kompaktleuchtstofflampe liegt bei $900 \text{ lm} / 13 \text{ W} = 69 \text{ lm} / \text{W}$. Das LED-Leuchtmittel hingegen weist einen Wirkungsgrad von $360 \text{ lm} / 6 \text{ W} = 60 \text{ lm} / \text{W}$. Auch hier ist zu erkennen, dass die LEDs noch nicht fortschrittlich genug sind, um mit den bisherigen Leuchtmitteln im Punkt Lichtausbeute mitzuhalten.

Tabelle 7: Vergleich Leuchtmittel Nr. 6

Kriterium	6a) G24q-1 LED mit 6 W ⁸⁹	6b) Kompaktleuchtstoff- lampe mit 13 W ⁹⁰
Preis	24,99 €	6,99 €
Leistung	6 W	13 W
Lebensdauer	50.000 h	8.000 h
Farbtemperatur (Lichtfarbe)	6000 K (tageslichtweiß)	2700 K (warmweiß)
Lichtstrom	360 lm	900 lm
Abstrahlwinkel	140°	140°

Quelle: Eigene Darstellung

Abschließend wird die Energiesparlampe mit der LED-Alternative verglichen. Neben dem höheren Preis und der geringeren Leistungsaufnahme ist auch hier bei der LED die überaus hohen Lebensdauer anzumerken. Diese verfügt, wie auch die Energiesparlampe, über einen Abstrahlwinkel von 360° .

⁸⁹ Vgl. o.V., G24q-1, o.J., http://www.beleuchtung-mit-led.de/product_info.php/.

⁹⁰ Vgl. o.V., G24q-1 LL, o.J., <http://www.conrad.de/ce/de/product/576655/>.

Die Berechnungen zum Wirkungsgrad der 9 W Energiesparlampe liefern folgendes Ergebnis: $405 \text{ lm} / 9 \text{ W} = 45 \text{ lm} / \text{W}$. Bei der LED-Birne wird ein Wirkungsgrad von $400 \text{ lm} / 5 \text{ W} = 80 \text{ lm} / \text{W}$ erreicht. Diese Berechnung zeigt, dass die LED-Lösung effizienter arbeitet, als das bisher eingesetzte Leuchtmittel.

Tabelle 8: Vergleich Leuchtmittel Nr. 7

Kriterium	7a) LED-Birne E27 mit 5 W ⁹¹	7b) Energiesparlampe E27 mit 9 W ⁹²
Preis	25,99 €	9,99 €
Leistung	5 W	9 W
Lebensdauer	50.000 h	15.000 h
Farbtemperatur (Lichtfarbe)	3000 K (warmweiß)	2700 K (warmweiß)
Lichtstrom	400 lm	405 lm
Abstrahlwinkel	360 °	360 °

Quelle: Eigene Darstellung

Um den Vergleich zu komplettieren wurde eine Amortisationsrechnung durchgeführt, die im Anhang 1 abgebildet ist.

Dabei wurden die Stromkosten der eingesetzten Leuchtmittel und der neuen LED-Variante, die auch im oben aufgeführten Vergleich verwendet wurden, ermittelt und auf ein Jahr hochgerechnet. Es ist zu erkennen, dass jede LED-Lösung eine erhebliche Stromeinsparung mit sich bringt:

Stromkosten/Jahr für herkömmliche Leuchtmittel:	2.461,56 €
Stromkosten/ Jahr für LED-Lösungen:	1.135,52 €
Stromkostenersparnis insgesamt:	1.326,05 €

Daraus lassen sich die Amortisationszeiten bestimmen, indem die Stromkostenersparnis der LEDs durch die Anschaffungskosten für LEDs dividiert wird.

⁹¹ Vgl. o.V., Birne, o.J., http://www.beleuchtung-mit-led.de/product_info.php/info/.

⁹² Vgl. o.V., E27, o.J., <http://www.conrad.de/ce/de/product/610293/MEGAMAN-COMPACT>.

Amortisationszeit:

$$t \text{ in Jahren} = (\text{Anschaffungskosten in €} / \text{Stromkostenersparnis pro Jahr in €})^{93}$$

Beispiel:

Anschaffungskosten der 37 LED-Röhren mit 1367,15 € / Stromkostenersparnis durch LEDs mit 729,27 € = 1,87 Jahre bzw. 22,5 Monate. Eine Amortisationsdauer von lediglich 1,87 Jahren gilt als kurzer Zeitraum.

Für die Umrüstung aller Sicherheitsleuchten auf LED-Leuchtmittel würden auf die BHS Investitionskosten von 2.500 € zukommen. Im Verhältnis zu den eingesparten Energiekosten, die jedes Jahr erzielt werden, kann dieser Betrag als gering erachtet werden.

Anhand der Lebensdauer und Brenndauer beider Leuchtmittellösungen wurde ermittelt, wie viele herkömmliche Leuchtmittel im Zeitraum der Lebensdauer eines LED-Leuchtmittels benötigt werden. Das Ergebnis zeigt, dass eine LED-Röhre 5,7 Jahre bei einer Lebensdauer von 50.000 Stunden und einer Brenndauer von 8760 Stunden hält und in der Zeit drei 18 W Leuchtstoffröhren eingesetzt werden müssen, da diese nur 20.000 Stunden halten:

LED: 50.000 h Lebensdauer / 8760 h Brenndauer = 5,7 Jahre

Leuchtstofflampe: 20.000 h Lebensdauer / 8760 h Brenndauer = 2,3 Jahre

5,7 Jahre / 2,3 Jahre = 2,48, also werden 3 LL benötigt.

Die anderen Größen wurden wie folgt berechnet:

- Energieverbrauch pro Tag: (Anzahl der Leuchten * Wattleistung * Brenndauer in h) / 1000
- Stromkosten pro Tag in €: kWh / Tag * Strompreis pro kWh
Der Preis pro kWh beträgt laut enviaM für den Standort Mittweida für Unternehmen 0,25 €.⁹⁴
- Durch Multiplikation mit 12 werden die Werte auf das Jahr hochgerechnet

⁹³ Vgl. o.V., Energiekostenrechner, o.J., <http://www.led-beleuchtungstechnik.com/info/>.

⁹⁴ Vgl. o.V., Enviam, 2010, <https://portal.enviam.de/irj/portal/geschaeftskunden>.

- Eine Brenndauer von 24 Stunden, da es sich um Sicherheitsbeleuchtung handelt

Die Kosten für den Austausch des Leuchtmittels und die Umbaumaßnahmen in der Leuchte sind in dieser Amortisationsrechnung nicht berücksichtigt.

4.3. Fazit

Nachdem die herkömmlichen Leuchtmittel mit den neuen LED-Lösungen verglichen wurden, lassen sich sowohl positive als auch negative Schlussfolgerungen ziehen.

Ein positives Merkmal ist die große Auswahl an LED-Leuchtmitteln am Markt. Zu jeder Leuchte, die als Sicherheitsbeleuchtung im Ferdinand-Pester-Haus eingesetzt wird, wurde eine passende LED-Variante gefunden.

Die Lebensdauer mit 50.000 Stunden ist um vieles höher als die der eingesetzten Leuchtmittel. Diese liegen hier oft nur bei 5.000 bis 20.000 Stunden und müssen somit öfter ausgetauscht werden als LEDs.

Durch den Einsatz der LEDs kann eine hohe Stromkosteneinsparung erzielt werden. Diese liegt bei den verwendeten Leuchten zwischen 44 % und 67 %.

Weiterhin ist zu erkennen, dass die LED-Leuchtmittel eine durchschnittliche Amortisationszeit von 2,1 Jahren haben und sich somit eine Investition in diese Technik lohnt.

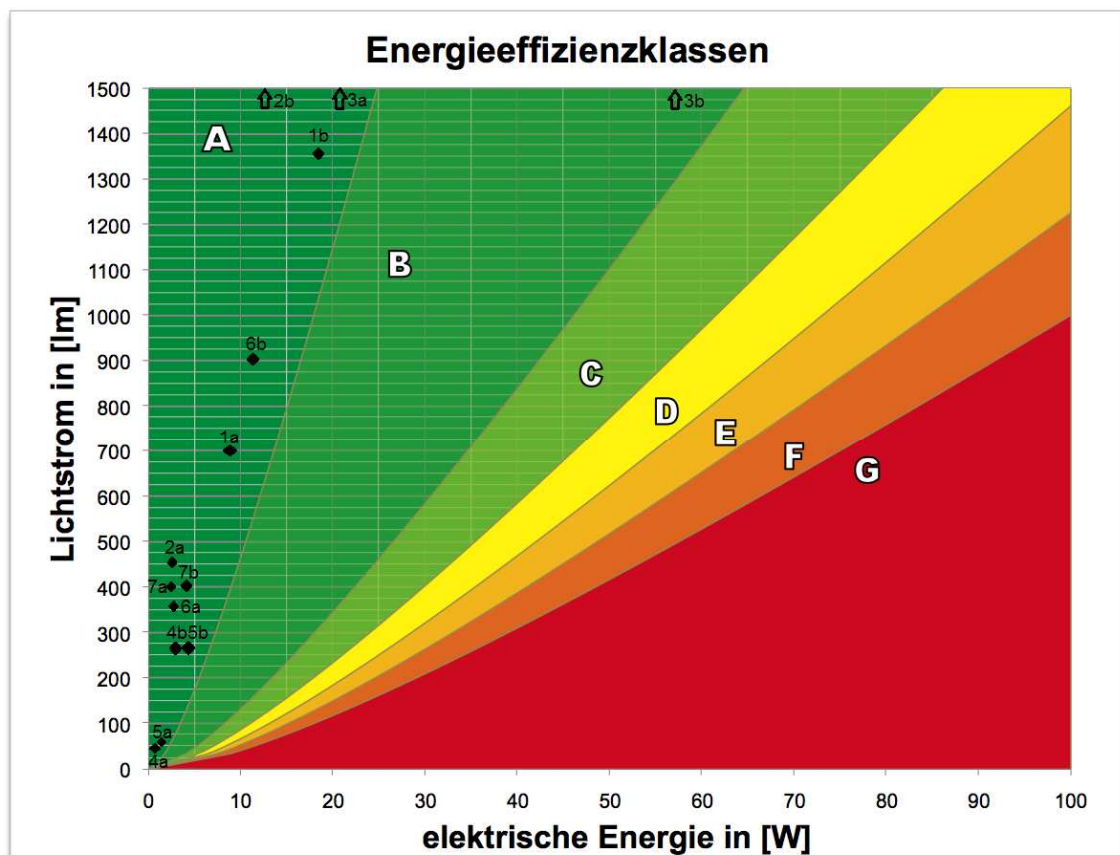
Als negativer Aspekt ist der hohe Preis zu nennen und der teilweise sehr geringe Lichtstrom. Das zeigt, dass die LED-Leuchtmittel noch intensiver weiterentwickelt werden müssen, um eine Lichtausbeute zu erreichen, die der von herkömmlichen Leuchtmitteln nahe kommt. Im Vergleich hat es nur ein Leuchtmittel geschafft über dem Wert eines herkömmlichen Leuchtmittels zu liegen. Das ist mit einer fast doppelt so hohen Lichtausbeute die LED-Birne.

Anhand des unten abgebildeten Energieeffizienzdiagramms, in welches alle hier verwendeten Leuchtmittel eingetragen sind, kann erkannt werden, dass sich jede Leuchte in der Energieeffizienzklasse A befindet und somit wirtschaftlich arbeitet. Die Nummerierung findet sich in den vorher behandelten

Tabellen im Kapitel 4.1 wieder. Aus diesem Grund wurde hier auf eine Legende verzichtet.

Leuchtmittel 3b scheint in der Abbildung in der Energieeffizienzklasse B zu liegen. Das ist auf die Achsenbeschriftung bis 1500 lm zurückzuführen. Leuchtmittel 3b besitzt einen Lichtstrom von 5200 lm, also weit mehr als in der Abbildung berücksichtigt. Ein ähnlicher Fall ist bei Leuchtmittel 2a und 3a zu erkennen.

Abbildung 16: Energieeffizienzklassen



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an:
http://de.academic.ru/pictures/dewiki/69/Energieeffizienz_100W.png [E.klassen]

Die Energieeffizienzklasse kann an dem Energielabel, welches sowohl an Leuchtmittelverpackungen als auch an Kühlschränken oder Waschmaschinen angebracht ist, abgelesen werden. Es gibt sieben Energieklassen A bis G.⁹⁵ Im Anhang 2 ist ein solches Energielabel für Lampen zu sehen.

⁹⁵ Vgl. o.V., E.Label, o.J., <http://www.energielabel.de/index.cfm>.

5. Zusammenfassung

Wie aus der Arbeit hervorgeht, gewinnen LEDs an immer mehr Beliebtheit. Die Einsatzbereiche vergrößern sich fortlaufend aufgrund der Weiterentwicklung der Technik. Sie kommen nicht nur im gewerblichen Sektor zur Anwendung, sondern werden auch privat in den verschiedensten Bereichen eingesetzt.

Die Lebensdauer von bis zu 50.000 Stunden spricht für sich. Wie aus dem praktischen Beispiel bei der Untersuchung der Sicherheitsbeleuchtung des Ferdinand-Pester-Hauses in Mittweida deutlich wurde, müssen durchschnittlich sechs Leuchtmittel in dem Lebenszyklus einer Leuchtdiode eingesetzt werden.

Doch die Leuchtdiode ist nicht nur mit Vorteilen versehen, sondern bringt auch Nachteile mit sich. Zu erkennen ist, dass LEDs eine Lichtausbeute vorweisen, die nur annähernd an die herkömmlicher Leuchten herankommt. Doch die Hersteller wollen in den nächsten Jahren einen Fortschritt von bis zu 140 lm / W erreichen. Denn nur wenige der derzeit am Markt angebotenen Leuchtdioden schaffen eine Lichtausbeute von 100 lm / W.⁹⁶ Die Berechnungen in dieser Arbeit bestätigen diese Fakten ebenfalls. Als Ergebnis ist festzustellen, dass die LEDs effizient arbeiten und Strom einsparen, aber der Wirkungsgrad muss erhöht werden.

Oftmals gelten die hohen Anschaffungskosten der LED als abschreckend. Doch wie in der Amortisationsrechnung zu erkennen ist, kann eine Investition bei Anschaffungskosten von insgesamt 2.500 € (ohne Umbaukosten) und einer durchschnittlichen Amortisationszeit von 2,1 Jahren für die BHS als lohnend bewertet werden.

Eine Umrüstung der Sicherheitsbeleuchtung auf LEDs bringt der BHS bei einem einfachen Leuchtmittelaustausch eine jährliche Stromkostenersparnis von 1.326 €. Das entspricht rund 54% eingesparter Energiekosten.

Neben der LED befindet sich eine weitere verwandte Technologie auf dem Vormarsch: die organischen Leuchtdioden. Sie erweitern die Einsatzbereiche aufgrund ihrer ultra-dünnen Bauweise enorm und bringt eine noch höhere

⁹⁶ Vgl. Biß, Abschied Glühlampe, 2009, S.42.

Lebensdauer mit sich. Neben der großflächigen Beleuchtung soll sogar in Textilien eine Verarbeitung möglich sein.

Grundsätzlich ist zu sagen, dass sich die Energieeffizienz von Leuchtmitteln im Laufe der letzten Jahrzehnte stark verbessert hat. Wie das Energieeffizienzdiagramm gezeigt hat, gelten viele der herkömmlichen Leuchtmittel als ebenso effizient wie die LEDs, haben jedoch eine geringe Lebensdauer und weisen andere Makel auf.

Die Fortschritte der LEDs und OLEDs lassen erkennen, dass die Entwicklung in der Beleuchtungsindustrie fortlaufend weitergeführt wird und immer neue Innovationen bereithält.

Anhang

Anhang 1: Amortisationsrechnung	IX
Anhang 2: Energielabel	X
Anhang 3: Beispiele für Beleuchtungsstärken.....	XI
Anhang 4: Beispiele für Farbtemperaturen	XII
Anhang 5: Beispiele für Leuchtdichten.....	XIII
Anhang 6: Beispiele für Lichtströme.....	XIV
Anhang 7: Email an die Unternehmen	XV
Anhang 8: Antwort-Email der Firma AIM Batterie Vertriebs GmbH.....	XVI
Anhang 9: Anfrage-Email an AIM.....	XVII
Anhang 10: Zweite Antwort-Email von AIM [Email 2]	XVII
Anhang 11: Antwort-Email der Firma Dr. Ing. Willing GmbH [Email 3]	XVIII
Anhang 12: Email der Firma Breuell Ingenieurbüro GmbH [Email 4]	XIX

Anhang 1: Amortisationsrechnung

Amortisationsrechnung

Stromkosten herkömmlicher Leuchtmittel

Anzahl der Leuchten	PG mit G5 LL	PG mit G5 LL	RL mit G13 LL	RL mit G5 LL	WL mit G13 LL	WL mit G24q-1	DL mit E27	Total
Leistung in W	6	6	37	18	14	3	4	2
Brenndauer in h	8	6	24	24	24	58	13	9
Energiepreis pro kWh	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Brenndauer im Jahr in Tagen	365	365	365	365	365	365	365	365
Energieverbrauch pro Tag in kWh	1,152	1,296	15,984	2,688	4,176	1,248	0,432	0,432
Energieverbrauch pro Jahr in kWh	420,48	473,04	5834,16	981,12	1524,24	455,52	157,68	157,68
Stromkosten/Tag in €	0,288	0,324	3,996	0,672	1,044	0,312	0,108	0,108
Stromkosten/Jahr in €	105,12	118,26	1458,54	245,28	381,06	113,88	39,42	2.461,56 €

Stromkosten mit LED-Leuchtmittel

Anzahl der Leuchten	PG mit LED-Röhre	PG mit LED-Röhre	RL mit G13 LED-Röhre	RL mit G5 LED-Röhre	WL mit G13 LED-Röhre	WL mit G24q-1	DL mit E27 LED-Birne	
Leistung in W	6	9	37	9	8	3	4	2
Brenndauer in h	3	2	24	24	24	22,5	6	5
Energiepreis pro kWh	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Brenndauer im Jahr in Tagen	365	365	365	365	365	365	365	365
Energieverbrauch pro Tag in kWh	0,432	0,432	7,992	1,152	1,62	0,576	0,24	0,24
Energieverbrauch pro Jahr in kWh	157,68	157,68	2917,08	420,48	591,3	210,24	87,6	87,6
Stromkosten/Tag in €	0,108	0,108	1,998	0,288	0,405	0,144	0,06	0,06
Stromkosten/Jahr in €	39,42	39,42	729,27	105,12	147,825	52,56	21,9	1.135,52 €

Einsparung Stromkosten pro Jahr in €
Einsparung Stromkosten in Prozent

1.135,52 €
1.326,05 €
53,87

Anschaffungskosten

Anschaffungskosten für 1 Leuchtmittel	18 €	21,00 €	36,95 €	59,26	69,95	24,99	25,99
Anschaffungskosten gesamt	108 €	189,00 €	1.367,15 €	474,08 €	209,85 €	99,96 €	51,98 €

2.500 €

Amortisation nach Jahren
Amortisation nach Monaten

2,97
35,60

Lebensdauer pro Röhre

Brenndauer in Stunden	LED	LL	LED	E27	LED	G24q-1	LED	PG-LL
Brenndauer pro Jahr in Stunden	50000	20000	15000	50000	15000	50000	8000	50000
Gesamte Lebensdauer in Jahren	8760	8760	8760	8760	8760	8760	8760	8760
	5,7	2,3	1,7	5,7	5,7	5,7	0,9	5,7

1:3

1:4

1:7

1:10

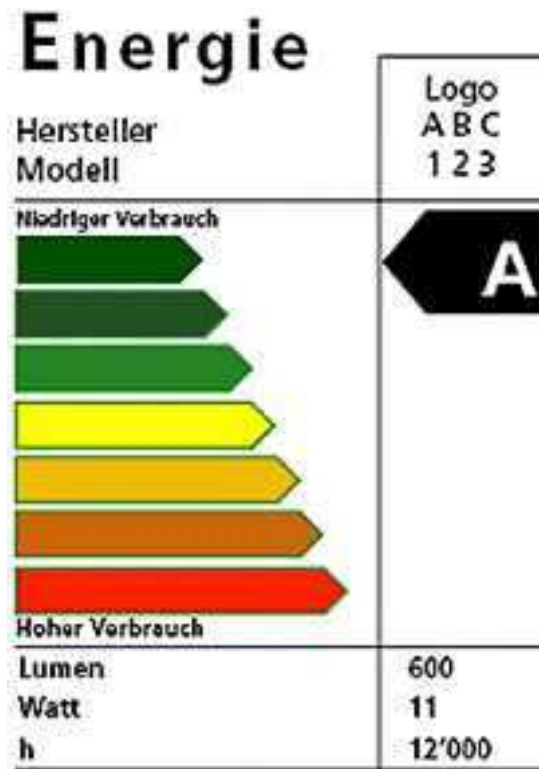
LL = Leuchtstofflampe PG = Piktogramm

RL = Rasterleuchte WL = Wandleuchte

DL = Deckenleuchte

Anhang 2: Energielabel

Abbildung 17: Energielabel für Leuchtmittel



Quelle: <http://www.energielabel.de/index.cfm> [E.Label]

Diese Abbildung zeigt ein Energielabel für Leuchtmittel. Anhand des Energielabels kann erkannt werden, in welcher Energieeffizienzklasse ein Gerät liegt. Geräte der Klasse A weisen einen geringen Energieverbrauch auf. Bis zur Klasse G verschlechtert sich dieser. Geräte mit LED-Leuchtmitteln liegen in der Energieeffizienzklasse A. Neben Leuchten werden auch Elektrogroßgeräte mit Energielabels versehen.⁹⁷

⁹⁷ Vgl. o.V., E.labels, o.J., http://www.energielabel.de/index.cfm?fact=sh_news_detail&id=112.

Anhang 3: Beispiele für Beleuchtungsstärken

Abbildung 18: Beleuchtungsstärken

Lichtverhältnis	Beleuchtungsstärke
Bedeckter Himmel im Sommer	10.000 lx
Bürobeleuchtung	500 lx
Wohnzimmerbeleuchtung	200 lx
Straßenbeleuchtung	10 lx
Dämmerlich nach Sonnenuntergang	1 lx
Mitternacht bei Vollmond	0,2 lx
Mondloser Sternenhimmel	0,0005 lx

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an:

<http://www.filmscanner.info/Fotometrie.html> [Fotometrie].

Diese Abbildung zeigt verschiedenen Lichtverhältnisse mit den dabei vorhandenen Beleuchtungsstärken. Die Mindestbeleuchtungsstärke für Sicherheitsbeleuchtung liegt bei 1 lux. Das ist vergleichbar mit dem Dämmerlicht bei Sonnenuntergang.

Anhang 4: Beispiele für Farbtemperaturen

Abbildung 19: Farbtemperaturen

Lichtquelle	Farbtemperatur
Kerze	1500 K
Glühbirne 100 W	2800 K
Halogenlampe	3200 K
Spätabendsonne vor Dämmerung	3500 K
Leuchtstoffröhre (kaltweiß)	4000 K
Morgen- und Abendsonne	5000 K
Neben	8000 K
Nördliches Himmelslicht	15.000 – 25.000 K

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an:

<http://www.filmscanner.info/Fotometrie.html> [Fotometrie].

Anhand dieser Tabelle können die Farbtemperaturen von verschiedenen Lichtquellen erkannt werden. Auf dem Markt werden derzeit z.B. LED-Leuchtmittel in warmweiß mit 3000 K angeboten. Dies entspricht etwa einer Spätabendsonne vor der Dämmerung. Für die Beleuchtung von Wohnraum sind diese Farbtemperaturen sehr beliebt, um eine angenehme Atmosphäre zu schaffen.

Anhang 5: Beispiele für Leuchtdichten

Abbildung 20: Leuchtdichten

Lichtquelle	Leuchtdichte
Sonne am Mittag	1.600.000.000 cd/m ²
100 W Glühlampe klar	10.000.000 cd/m ²
Sonne am Horizont	5.000.000 cd/m ²
100 W Glühlampe matt	200.000 cd/m ²
Blauer Himmel	10.000 cd/m ²
Kerzenfalmme	5.000 cd/m ²
Mond	2.500 cd/m ²
Nachthimmel	0,00, cd/m ²

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an:

<http://www.filmscanner.info/Fotometrie.html> [Fotometrie].

In dieser Abbildung werden Leuchtdichten ersichtlich, die verschiedenen Lichtquellen aufweisen. Die Leuchtdichte für Piktogramme muss mindestens 500 cd/m² betragen⁹⁸.

⁹⁸ Vgl. DIN 4844-1: Graphische Symbole, 2005, S. 25.

Anhang 6: Beispiele für Lichtströme

Abbildung 21: Lichtströme

Lichtquelle	Lichtstrom
Leuchtdiode	0,01 lm
Glühlampe 60 W	600 lm
Glühlampe 100 W	1500 lm
Leuchtstoffröhre 40 W	2300 lm
Quecksilberdampf Lampe 100 W	4500 lm

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an:

<http://www.filmscanner.info/Fotometrie.html> [Fotometrie].

Da es Leuchtmittel in den verschiedensten Ausführungen gibt, weisen diese unterschiedliche Angaben zum Lichtstrom auf. Der Nachteil, den die LED momentan noch mit sich bringt, ist der teilweise halb so große Lichtstrom wie der von Leuchtstoffröhren.

Anhang 7: Email an die Unternehmen

Für die Bearbeitung des Bachelorthemas war es notwendig mit verschiedenen Unternehmen Kontakt aufzunehmen, um Informationen zur Sicherheitsbeleuchtung zu erlangen. Dazu diente die unten aufgeführte Email.

Sehr geehrte Damen und Herren,

ich studiere an der Hochschule Mittweida Immobilien- und Facility Management und befasse mich im Rahmen meiner Bachelorarbeit mit der Umrüstung der Sicherheitsbeleuchtung in Gebäuden von herkömmlichen Leuchtmitteln auf LEDs. Da ich mich in der Elektrotechnik nur geringfügig auskenne, habe ich einige Fragen. Ich würde mich freuen, wenn Sie sich die Zeit nehmen und diese beantwortet bzw. an eine zuständige Person weiterleiten. Ihre Aussagen würde ich gern als Quelle in meiner Arbeit verwenden. Sind Sie damit einverstanden?

In dem Gebäude, in welchem ich die Sicherheitsbeleuchtung untersuche, gibt es unter anderem mehrere Rasterleuchten mit je drei 18W Leuchtstofflampen, bei denen eine 24h dauerhaft eingeschaltet ist. Bei einem Netzausfall schaltet diese automatisch in den Notbetrieb um (also Gleichstrom). Nun habe ich in verschiedenen Internetquellen gelesen, dass man bei einer Umrüstung auf LEDs einfach den Starter ausbauen muss und das Vorschaltgerät überbrückt und dann die LED-Röhre einsetzen kann.

Nun meine Fragen:

Ist es gesetzlich erlaubt eine Sicherheitsleuchte auf diese Weise umzubauen oder ist dies nur bei Allgemeinbeleuchtung zulässig?

In welcher Norm stehen dazu Regelungen, etc.?

Ist das Umschalten von Wechselstrom in Dauerstrom bei LED-Leuchtmitteln möglich/erlaubt oder kommt es zu einem Defekt bzw. zu einer Verkürzung der Lebensdauer? Denn es gibt auf dem Markt bereits Piktogramme, die mit LEDs funktionieren und von Wechsel- in Gleichstrom schalten können. Würde es auch bei Piktogrammen funktionieren, die auf den Betrieb mit Leuchtstofflampen ausgelegt sind, man bei diesen aber Starter ausbaut und Vorschaltgerät überbrückt und das LED-Leuchtmittel einsetzt?

Weiterhin gibt es Decken- und Wandleuchten in dem Gebäude mit E27-Fassungen, 6W und 8W Piktogrammen, 13W G24q-1 Kompaktleuchtstofflampen und 14W G5 Leuchtstofflampen. Müssen bei einer Umrüstung komplett neue LED-Leuchten verbaut werden, die darauf ausgerichtet sind von Dauer- in Bereitschaftsschaltung umzuschalten oder setzt man einfach das LED-Leuchtmittel ein?

Ich danke Ihnen im Voraus.

Mit freundlichen Grüßen

Nancy Wetzig

Anhang 8: Antwort-Email der Firma AIM Batterie Vertriebs GmbH

[Email 1]

Sehr geehrte Frau Wetzig,

Grundlage der Sicherheitsbeleuchtung eines Gebäudes ist die Sicherstellung einer Mindestbeleuchtungsstärke (Fluchtwegbeleuchtung in Bereitschaftschaltung (BS)) und Anzeige der Fluchtrichtung (Piktogrammleuchten in Dauerschaltung (DS)).

So lange wie die Netzversorgung der SVHV (Sicherheitsstromversorgung-Hauptverteilung = Zentralgerät) sichergestellt ist, werden die Leuchten mit Wechselspannung versorgt. Im Falle einer Störung werden zusätzlich die Bereitschaftsleuchten eingeschaltet.

Erst bei Ausfall der Netzversorgung der Zentrale wird auf Batteriebetrieb umgeschaltet, und die Leuchten mit Gleichspannung betrieben (es gibt auch hier Ausnahmen, nämlich Anlagen mit Wechselrichtern, welche aus der Batteriespannung wieder Wechselspannung erzeugen).

Daraus folgt, dass die Leuchtmittel oder die Elektronik, die den Leuchtmitteln (wie z. B. Langfeldleuchten) vorgeschaltet sind, sowohl für Wechsel- als auch für Gleichspannung geeignet sein müssen. Dies ist bei den heute eingesetzten Leuchtstoff-Leuchtmitteln mit EVG (elektronisches Vorschaltgerät) oder aber normalen Glühlampen-Leuchtmitteln der Fall.

Grundsätzlich werden LED nur mit Gleichspannung betrieben, da es sich ja hier um eine Halbleiterdiode handelt.

Wir vertreiben nur Leuchtmittel als Ersatz für die 6 bzw 8 W LL mit eigener, separater Elektronik. Die Fassungen der vorhandenen Leuchten werden weiter verwendet, die Vorschaltgeräte aber ausgebaut. Ob es andere Leuchtmittel gibt, die z.B. die Elektronik schon integriert haben, entzieht sich unserer Kenntnis.

Ein Austausch der Leuchtmittel ist grundsätzlich möglich, wenn die notwendigen Beleuchtungsstärken und Lichtverteilungskurven auch mit den neuen Leuchtmitteln eingehalten werden. Bei Piktogrammleuchten ist die Erkennungsweite bzw. die Gleichmäßigkeit der Ausleuchtung maßgeblich. Am besten ist, man fordert die Angaben vom Leuchtenhersteller ein.

Nähere Hinweise zur Ausgestaltung von Sicherheitsleuchten stehen in der EN1838.

Ich hoffe, ich konnte Ihnen hier weiterhelfen. Den Quellenhinweis können Sie gerne verwenden.

Mit freundlichem Gruß

Markus Moder

AIM Batterie Vertriebs GmbH
Benno-Straße-Str. 8
D-90763 Fürth

Anhang 9: Anfrage-Email an AIM

Sehr geehrter Herr Moder,

Sie haben in Ihrer Antwortmail davon geschrieben, dass Sie LED-Leuchtmittel für 6 und 8 W Leuchtstofflampen anbieten. Für meine Amortisationsrechnung bräuchte ich bitte noch die Preise der jeweiligen

LED-Leuchtmittel und wenn möglich die Lumen-Angabe.

Ich danke Ihnen im Vorraus,

mit freundlichen Grüßen

Nancy Wetzig

Anhang 10: Zweite Antwort-Email von AIM [Email 2]

Sehr geehrte Frau Wetzig,

anbei sende ich Ihnen die gewünschten Informationen, jetzt mit kleineren Dateien. Vielleicht funktioniert es ja.

Wenn nicht, hier die Daten:

Verkaufspreise ohne Einbau:

Ersatz f?r 6 W LL (45 lm, 2W)	
1 Satz LED-Leuchtmittel + Elektronik	netto 39,20 EUR + MwSt.

Einzelpreise:	LED-Leuchtmittel	netto 18,00 EUR + MwSt.
	Elektronik	netto 24,00 EUR + MwSt.

Ersatz f?r 8 W LL (60 lm, 3W)	
1 Satz LED-Leuchtmittel + Elektronik	netto 41,90 EUR + MwSt.

Einzelpreise:	LED-Leuchtmittel	netto 21,00 EUR + MwSt.
	Elektronik	netto 24,00 EUR + MwSt.

Mit freundlichem Gru?

Markus Moder

AIM Batterie Vertriebs GmbH
Benno-Strau?-Str. 8
D-90763 F?rth

Anhang 11: Antwort-Email der Firma Dr. Ing. Willing GmbH [Email 3]

Sehr geehrte Frau Wetzig,

ich werde versuchen Ihre Frage so gut wie möglich zu beantworten, falls bei Ihnen doch noch Fragen aufkommen, melden Sie sich einfach bei mir.

1. Umrüstung von 18-W-Leuchtstofflampen auf LED:

Generell ist es gesetzlich erlaubt diese Umrüstung zu machen, aber es gibt gewisse Bedingungen, die beachtet werden müssen.

a) Der Umbau erfolgt auf eigenes Risiko.

b) Bei einem solchen Umbau liegen dann 230 V an der Lampenklemmen an, was zu potentiellen Gefahrenquelle wird.

2. Die wichtigsten Normen der Sicherheitsbeleuchtung sind:

DIN EN 1838: Beschreibt die Anforderungen an die Sicherheitsbeleuchtung im Notfall

DIN 4844: Beschreibt die lichttechnischen Anforderungen an Rettungszeichen bei vorhandener Allgemeinbeleuchtung

DIN V VDE V 0108:100: Beschreibt die Anforderungen ein Sicherheitsbeleuchtungsanlage

DIN EN 60598-2-22: Anforderung an Sicherheitsleuchten

3. Rettungszeichenleuchten in LED

Die meisten Vorschaltgeräte für LEDs sind auch für den Gleichstrombetrieb ausgelegt, dass hat keinen Effekt auf die LED da diese entweder mit konstanter Spannung oder Strom vom Vorschaltgerät betrieben wird.

So gut wie alle Rettungszeichenleuchten gibt es heutzutage in LED. Wir verkaufen über 50% unsere Rettungszeichenleuchten in LED. Das Problem ist nur die Ausleuchtung des Zeichen. Die meisten LED-Leuchten auf dem Markt erfüllen im Gegensatz zu unseren Leuchten die Vorgabe der DIN 4844 von 500 cd/m² für die mittlere Leuchtdichte der weißen Kontrastfarbe nicht. Auch hier würde ich von einem Eigenumbau abraten, es wäre aber theoretisch möglich.

4. Umrüstung

Auch hier ist bei der Umrüstung darauf zu achten, dass alle Normen und Vorschriften eingehalten werden. Das Problem mit der LED-Beleuchtung ist, dass sie für den Einsatz in der Allgemeinbeleuchtung meisten zu wenig Licht liefert. Während bei der Sicherheitsbeleuchtung nur eine Beleuchtungsstärke von 1 Lux auf dem Boden gefordert ist, liegt die geforderte Beleuchtungsstärke der Allgemeinbeleuchtung zwischen 50 und 100 Lux.

Ideal bei der Umrüstung der Sicherheitsbeleuchtung auf LED ist der Einsatz von eigenen Sicherheitsleuchten zur Rettungswegausleuchtung im Notfall, dadurch kann sehr viel Energie gespart werden und somit vor allem Batteriekapazität.

Ich hoffe, ich konnte Ihnen Ihre Frage halbwegs wie gewünscht geantwortet. Anbei gebe ich Ihnen noch eine Exceltabelle in der erkenntlich wird wie schnell sich LED-Rettungszeichen gegenüber der Leuchtstofflampen-Variante wieder amortisiert.

Mit freundlichen Grüßen

Philipp Kittelmann - Dr. Ing. Willing GmbH

Anhang 12: Email der Firma Breuell Ingenieurbüro GmbH [Email 4]

Über das Kontaktformular der Seite www.b-safety.com der Firma Breuell wurde eine Preisanfrage gesendet. Aus diesem Grund ist hier keine Anfrage-Email aufgeführt. Diese Quelle enthält zwei pdf-Dateien, aus denen Informationen für die Bachelorarbeit gewonnen wurden.

Hallo Frau Wetzig,

anbei schicke ich Katalog und Preisliste der Notleuchten.

Bei Fragen können Sie mich gerne ansprechen.

mit freundlichem Gruß

Mirco Schippmann
Technischer Vertrieb
Breuell Ingenieurbüro GmbH

pl-notleuchten-sicherheitsleuchten-ex-leuchten-2010.pdf	1.1 M
katalog-B-SAFETY-beleuchtung-2010.pdf	18 M

Literaturverzeichnis

Bücher:

Busch, Rudolf [Elektrotechnik, 2003]: Elektrotechnik und Elektronik, 3. Auflage, Wiesbaden: B. G. Teubner Verlag, 2003.

Donath, Jan Guido [Halbleiter, 2008]: Halbleiter-Bauelemente und Grundsaltungen, Wilburgstetten: J. Schlembach Fachverlag, 2008.

Lindner, Helmut [Taschenbuch, 2004]: Taschenbuch der Elektrotechnik und Elektronik, 8. neu bearbeitete Auflage, Wien: Carl Hanser Verlag, 2004.

Lunze, Klaus [E-technik, 1965]: Einführung in die Elektrotechnik, 4. Auflage, Berlin: VEB Verlag Technik, 1965.

Paul, Reinhold [Optoelektronisch, 1985]: Optoelektronische Halbleiterbauelemente, Stuttgart: Teubner Verlag, 1985.

Reisch, Michael [Bauelemente, 2005]: Halbleiter-Bauelemente, Heidelberg: Springer-Verlag, 2005.

Zeitschriften:

Biß, Andreas [Abschied Glühlampe, 2009]: Die LED und der Abschied von der Glühlampe, in: ElektronikPraxis, 5/2009, S.42-45.

Haldi, Andreas [OLEDs, 2009]: OLEDs erobern Displays und Beleuchtung, in: ElektronikPraxis, 5/2009, S. 48-50.

Sonneveld, Anton [Lichtgestaltung, 2009]; Kreative Lösungen für die Lichtgestaltung, in: ElektronikPraxis, 5/2009, S.40-41.

Juristische Quellen:

DIN EN 1838: 1999-07 Angewandte Lichttechnik – Notbeleuchtung, Berlin: Beuth-Verlag, 1999.

DIN 4844-1: 2005-05 Graphische Symbole – Sicherheitsfarben und Sicherheitszeichen, Berlin: Beuth-Verlag, 2005.

Emails:

Kittelmann, Phillip [Email 3, 2010]: Dr. Ing. Willing GmbH, Burgellern, Columb-Sonath-Straße 4, 96110 Scheßlitz, Email, phillip.kittelmann@willing-online.de, 17.09.2010

Moder, Markus [Email 1, 2010]: AIM Batterie Vertriebs GmbH, Benno-Strauß-Straße 8, 90763 Fürth, Email, moder@aim-nuernberg.de, 15.09.2010.

Moder, Markus [Email 2, 2010]: AIM Batterie Vertriebs GmbH, Benno-Strauß-Straße 8, 90763 Fürth, Email, 23.09.2010.

Schippmann, Mirco [Email 4, 2010]: Breuell Ingenieurbüro GmbH, Grützmlenweg 40, 22339 Hamburg, Email, schippmann@b-safety.com, 24.08.2010.

Elektronische Medien:

Braker, Simon [Automobile, 2008.]: Disco-Blitze auf der Autobahn, in: <http://www.stern.de/auto/service/led-leuchten-disco-blitze-auf-der-autobahn-631586.html>, 2008, 03.08.2010.

o.V. [Ambilight, o.J.]: Ambilight, in: <http://www.philips.de/c/fernsehgeraete/33090/cat/?tab=ambilight&origin=marin|sjKp6>, o.J., 03.08.2010.

o.V. [Aufbau LED, o.J.]: Leuchtdiode (LED), in: http://www.fremohemsbach.de/LED_GL_01.htm, o.J., 16.07.2010.

o.V. [Bauformen, o.J.]: 4 Bauformen von LEDs, in: <http://www.ledshift.com/Bauformen%20German.html>, o.J., 16.07.2010.

o.V. [BHS, 2010]: Über uns, in: <http://www.bhs-mittweida.de/wb/index.php>, 2010, 16.06.2010.

o.V. [Birne, o.J.]: LED-Birne, in: http://www.beleuchtung-mit-led.de/product_info.php/info/p487_BIOLEDEX--VEO-5W-LED-Birne-E27-400-Lumen-Warm-Weiss---40W-Gl-hbirne.html, o.J., 23.08.2010.

o.V. [COB, o.J.]: Chip on Board (COB) LED Module, in: http://www.lumitech.at/chip-on-board-cob-led-module_11.htm, o.J. 18.07.2010.

o.V. [Dioden, o.J.]: Dioden und Kennlinien, in: <http://entladung.net/ep004/>, o.J., 19.07.2010.

o.V. [E27, o.J.]: Megaman Energiesparlampe, in:
http://www.conrad.de/ce/de/product/610293/MEGAMAN-COMPACT-CLASSIC-9W-E27-MATT/SHOP_AREA_22525&promotionareaSearchDetail=005, o.J.,
 23.08.2010.

o.V. [Einsatzbereiche, o.J.]: Verwendungsarten von LED's, in:
<http://www.dieenergiesparlampe.de/led-lampen/einsatzbereiche/>, o.J.,
 03.08.2010.

o.V. [E.klassen, o.J.]: Energieeffizienzklassen, in:
http://de.academic.ru/pictures/dewiki/69/Energieeffizienz_100W.png, o.J.,
 26.08.2010.

o.V. [E.labels, 2006.]: Energielabel: Sparsame Geräte einfach erkennen, in:
http://www.energielabel.de/index.cfm?fact=sh_news_detail&id=112, 2006,
 29.09.2010.

o.V. [Energiekostenrechner, o.J.]: Energiekostenrechner, in: <http://www.led-beleuchtungstechnik.com/info/So-rechnet-sich-LED-Beleuchtung-bei-Ihnen.html>, o.J., 21.09.2010.

o.V. [EnviaM, 2010]: Stromkosten für 09648 Mittweida für Unternehmen, in:
https://portal.enviam.de/irj/portal/geschaeftskunden?NavigationTarget=ECS://f2331cec60cb01908fc9b11df8b1a9c3_Geschaeftskunden/d0b4a516-eda0-2b10-dd81-f7b66c821fb6/e2b54c7a-be2a-2d10-04af-868862dc1bb6/308b492a-14a5-2b10-49b9-e5b1940152fb, 2010, 21.09.2010.

o.V. [Farbtemp., o.J.]: Lichtfarben, in: <http://www.licht-und-mehr.de/portal/lichtfarben/1240.html>, o.J., 24.08.2010.

o.V. [G13, o.J.]: G13 58W, kaltweiß G13, in:
www.leuchtenzentrale.de/Leuchtenzentrale/G13-58W--kaltweiss, o.J.,
 23.08.2010.

o.V. [G24q-1, o.J.]: G24q-1 LED Röhre, in: http://www.beleuchtung-mit-led.de/product_info.php/info/p506_G24q-1-LED-R-hre-6W-360Lm-840-860-PL-C-4-Pin-G24-Leuchtr-hre.html, o.J., 23.08.2010.

o.V. [G24q-1 LL, o.J.]: Megaman Energiesparlampe Röhrenform Leuchtstoffröhre G24-q, in:
<http://www.conrad.de/ce/de/product/576655/MEGAMAN-ESL-D-TUBE-G24-Q1-13W827-EVG>, o.J., 23.08.2010.

o.V. [LED-Röhre, o.J.]: LED-Leuchtstoffröhre T8, in: http://www.beleuchtung-mit-led.de/index.php/cat/c58_LED-Leuchtstoffr-hre-T8.html, o.J., 28.06.2010.

- o.V. [Lichtgrößen, o.J.]: Lichttechnische Grundgrößen, in:
http://www.osram.ch/osram_ch/DE/Lichtplanung/Ueber_Licht/Licht_%26_Raum/Lichttechnische_Groessen/Quantitative/index.html, o.J., 31.08.2010.
- o.V. [LED-B., o.J.]: Installationshinweise für LED-Röhren, in:
http://www.beleuchtung-mit-led.de/shop_content.php/colD/407_installationshinweise_led_roehren, o.J., 19.09.2010.
- o.V. [LED-Gartenleuchten, o.J.]: LED-Gartenbeleuchtung, in: <http://led24.de/led-garten-beleuchtung/>, o.J., 27.09.2010.
- o.V. [LED-Shop, o.J.]: o.T., in: <http://www.led1.de/shop/>, o.J., 21.07.2010.
- o.V. [LED-SL, o.J.]: LED Schreibtischlampe, in:
<http://www.conrad.de/ce/de/product/775431/USB-SCHREIBTISCHLAMPE-MIT-15-LEDS>, o.J., 29.09.2010.
- o.V. [LED-Straßenbeleuchtung, o.J.]: LED- Straßenbeleuchtung, in:
<http://www.rwe.com/web/cms/de/433658/factbook/aktuelle-begriffe/led-strassenbeleuchtung/>, o.J., 03.08.2010.
- o.V. [Notleuchten, o.J.]: Notleuchten, in: www.ks-licht.de/products/de/Notleuchten/Uni-Notleuchte-NL1.html, o.J., 23.08.2010.
- o.V. [Olympische Spiele, o.J.]: Beijing Games, Water Cube and Bird's Nest — Cree LEDs on Display, in: <http://www.cree.com/press/Olympics.asp>, o.J., 03.08.2010.
- o.V. [Polardiagramm, o.J.]: Polardiagramm, in:
<http://www.buehrerlicht.ch/abc.php>, o.J., 31.08.2010.
- o.V. [Sicherheitsbeleuchtung, o.J.]: Sicherheitsbeleuchtungen/ Notbeleuchtungen, in: <http://www.schorisch-systems.de/de/sicherheitsbeleuchtung/sicherheits-beleuchtungen.html>, o.J., 17.08.2010.
- o.V. [SMD-Röhre, o.J.]: SMD LED Röhre 150cm Leuchtstofflampe T8, in:
http://www.beleuchtung-mit-led.de/product_info.php/info/p469_SMD-LED-R-hre-150cm-Leuchtstofflampe-T8-G13-Weiss.html, o.J., 23.08.2010.
- o.V. [Superflux, 2008.]: Vielseitig einsetzbar: SuperFlux LED Leisten mit innovativem Konzept, in: <http://www.openpr.de/news/214280/Vielseitig-einsetzbar-SuperFlux-LED-Leisten-mit-innovativem-Konzept.html>, 2008, 16.07.2010.

o.V. [Superflux-LED, o.J.]: Superflux-LED, in:
<http://such001.reichelt.de/?SID=15U7wwhqwQAQ8AAPVK6Yd5f3a13d2c0fd80ae26d8fe906cf622f;ACTION=444>, o.J., 29.09.2010.

o.V. [T5, o.J.]: Ledino LED-Röhre, T5, in: www.lampenheini.de/-LED-Leuchtmittel-Form-Roehre/a-5104/?ReferrerID=54, o.J., 23.08.2010.

o.V. [T5 LL, o.J.]: Osram Energiesparlampe Röhrenform T5 Leuchtstofflampen HE, in: http://www.conrad.de/ce/de/product/572860/MASTER-TL5-HE-14W-830/SHOP_AREA_22535&promotionareaSearchDetail=005, o.J., 23.08.2010.

o.V. [T8, o.J.]: Osram Energiesparlampe Röhrenform Lumulix T8, in:
<http://www.conrad.de/ce/de/product/576328/LUMILUX-T8-18W-840/1905180>,
 o.J., 23.08.2010.

o.V. [Vor- und Nachteile, o.J.]: Vor- und Nachteile der LED, in:
http://www.lichtmacherei.de/vorteile_der_led.htm, o.J., 25.06.2010.

o.V. [WC Peking, o.J.]: Water Cube Peking, in:
http://www.vancouver.com/static/stored_images/340_500x258.beijing%20water%20cube.jpg, o.J., 29.09.2010.

Schielke, Thomas [Licht, o.J.]: Licht-Farbe-Gefühl: Physikalische und psychologische Aspekte der Beleuchtung, in:
<http://www.instandhaltung.de/2009/05/licht-farbe-gefuehl/>, o.J., 06.09.2010.

Wagner, Patrick [Fotometrie, o.J.]: Fotometrie – Zahlenmäßige Beschreibung von Licht, in: <http://www.filmscanner.info/Fotometrie.html>, o.J., 31.08.2010.

Würtenberg, Jens [Hersteller, 2009]: Rangliste der LED-Hersteller, in:
http://www.elektroniknet.de/opto/news/article/21614/0/Rangliste_der_LED-Hersteller/, 2009, 21.07.2010.

Selbstständigkeitserklärung

Ich erkläre, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Bearbeitungsort, Datum

Unterschrift